

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie a kartografie



Daša Martinásková

**TEPLOTNÍ REŽIM POVRCHOVÉ VRSTVY MORÉN
V ÚDOLÍ ADYGINE, KYRGYZSKÝ HŘBET**

**THERMAL REGIME OF MORaine COVER IN THE ADYGINE VALLEY,
KYRGYZ RANGE**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Zbyněk Engel, Ph.D.

Praha, 2012

Zadání bakalářské/diplomové práce

Název práce

Teplotní režim povrchové vrstvy morén v údolí Adygine, Kyrgyzský hřbet

Cíle práce

Vyhodnocení teplotních měření z podpovrchové vrstvy morén v údolí řeky Adygine v Kyrgyzském hřbetu. Interpretace výsledků vzhledem k průběhu recentní věčnosněžné čáry a poloze čela ledovce Adygine.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Zpracování tříleté řady intervalových měření teplot povrchové vrstvy ledovcových sedimentů z předpolí ledovce Adygine v severně orientovaném údolí Kyrgyzského hřbetu (severní Ťan-Šan).

Datum zadání: 16. listopad 2010

Jméno studenta: Daša Martinásková

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Zbyněk Engel, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité informační zdroje a literaturu řádně citovala. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze 27. srpna 2012

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu mé práce RNDr. Zbyňku Engelovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, poskytnutí odborné literatury a za cenné rady a připomínky. V neposlední řadě děkuji také rodině a všem za podporu během zpracovávání bakalářské práce a v průběhu celého studia.

ABSTRAKT

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na teplotní režim povrchové vrstvy morén v údolí řeky Adygine v Kyrgyzském hřbetu (severní Ťan-Šan). Cílem je vyhodnotit teplotní měření z předpolí ledovce Adygine a interpretovat výsledky vzhledem k průběhu recentní věčnosněžné čáry a oblasti permafrostu. V zájmovém území (3498-3659 m n. m.) je umístěno pět termistorů s datalogery MINIKIN, které zaznamenávají teploty v hloubkách 15 a 30 cm pod povrchem ledovcových akumulací a dvě čidla stejného typu, která měří teploty vzduchu.

Povrchová vrstva morén pravidelně každý rok na tři až pět měsíců roztaje, roční průměrné teploty půdy neklesly pod -2°C a lokality měření se vyznačují poměrně slabou regelační aktivitou. Průměrná roční teplota vzduchu v 3653 m n. m. v roce 2011 byla $-4,5^{\circ}\text{C}$ a v 3913 m n. m. byla $-6,1^{\circ}\text{C}$.

Porovnání naměřených dat s publikovanými údaji o průměrných teplotách permafrostu v přílehlých pásmech pohoří Ťan-Šan nasvědčuje, že se zájmové území nachází v oblasti nesouvislého horského permafrostu. Nulová izoterma teploty vzduchu se nachází přibližně v 2900 m n. m., linie rovnováhy ledovce v 4000 m n. m., což je níže než linie horského permafrostu, bázi čela ledovce Adygine lze označit za teplou.

Klíčová slova: teplotní režim, povrchová vrstva, regelační aktivita, údolí Adygine

ABSTRACT

The focus of this bachelor thesis is the thermal regime of the moraine cover in the valley of river Adygine in Kyrgyz Range area in the northern Tien-Shan. The intention of this thesis is to evaluate the temperature measurements from the glacia zone of the Adygine glacier and to explicate the results with regards to the continuance of equilibrium snow line and permafrost area. In the area of interest, with altitude 3500 to 3900m, two air temperature sensor and five thermistors with MINIKIN dataloggers were installed. The thermistors measure temperature in 15 and 30cm depths below the surface of glacial accumulations.

The surface layer of moraines melts annually for three or five months, mean annual ground temperature did not drop below -2°C and area of measurements is distinguished with weak freeze-thaw activity. The mean annual air temperature in year 2011 was $-4,5^{\circ}\text{C}$ in 3653 m and $-6,1^{\circ}\text{C}$ in 3913 m altitude respectively.

The comparison of measured data with published average permafrost temperature data in nearby ranges of Tan-San Mountains suggests that area of interest is located in discontinuous mountain permafrost area. Zero isothermic line of air temperature is located in approximately 2900m altitude and equilibrium line altitude in 4000 m. This is lower than the mountain permafrost level and so the base of glacial front can be denoted as warm

Key words: thermal regime, surface layer, freeze-thaw activity, Adygine valley

OBSAH

1. ÚVOD	10
2. TEPLOTNÍ REŽIM SEDIMENTŮ V HORSKÉM PROSTŘEDÍ	11
2.1. Teplotní režim a jeho charakteristiky	11
2.2. Hraniční teplotní charakteristiky glaciální zóny a permafrostu	13
3. ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ	18
3.1. Vymezení	18
3.2. Geologická a geomorfologická charakteristika	19
3.3. Klimatické a hydrologické podmínky	23
4. METODY PRÁCE	26
5. VÝSLEDKY	29
5.1. Popis stanovišť	29
5.2. Lokalita dolní Adygine ST-1	34
5.3. Lokalita dolní Adygine ST-2	37
5.4. Lokalita dolní Adygine ST-3	42
5.5. Lokalita dolní Adygine ST-4	47
5.6. Lokalita dolní Adygine ST-5	51
5.7. Srovnání teplotního režimu lokalit ST-1 až ST-5	54
5.8. Obecné teplotní charakteristiky vzduchu	56
6. DISKUZE	58
7. ZÁVĚR	61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
Mapové zdroje	65
Internetové zdroje	65

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schematický diagram zobrazující periglaciální zónu v alpínské oblasti	14
Obr. 2: Vztah mezi průměrnou roční teplotou vzduchu (MAAT) a průměrnými ročními srážkami (MAP) na linii rovnováhy ledovce (ELA), dále vztah mezi (horským) permafrostem a bází ledovce.....	15
Obr. 3: Schematické zobrazení termálních režimů ledovců a permafrostu v horském prostředí. Poloha izotermy 0°C	17
Obr. 4: Údolí Adygine s nejznámějšími vrcholy.....	19
Obr. 5: Rozložení ledovců v údolí Adygine (229– 235)	21
Obr. 6: Rozdělení Ťan-Šanu na regiony podle převládajících cirkulačních procesů, režimu srážek a orografických vlastností.	23
Obr. 7: Roční kolísání dlouhodobých průměrných srážek (P) podle nadmořské výšky na severním svahu Kyrgyzského hřbetu.	24
Obr. 8: Umístění dataloggerů a meteostanice v terénu	29
Obr. 9: Pohled z údolí na ST-1.....	30
Obr. 10: Lokalita ST-2 na vnějším valu pohřbeného ledovce.....	30
Obr. 11: Lokalita ST-2	31
Obr. 12: Lokalita ST-3 zhruba na úrovni termokrasového jezera.....	31
Obr. 13: Okolí lokality ST-4	32
Obr. 14: Okolí lokality ST-4	32
Obr. 15: Pohled z údolí na ledovec a lokalitu ST-5	33

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-1, leden -červen 2008	34
Graf 2: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-1, květen - prosinec 2009	35
Graf 3: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-1, rok 2010	35
Graf 5: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-2, rok 2008	39
Graf 6: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-2, rok 2009	39
Graf 7: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-2, leden - srpen 2010	40
Graf 8: Porovnání prům. měsíčních teplot půdy v lokalitě ST-2 za roky 2008, 2009, 2010	40
Graf 9: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-3, rok 2008	43
Graf 10: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-3, rok 2009	44
Graf 11: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-3, leden – srpen 2010	44
Graf 12: Porovnání prům. měsíčních teplot půdy v lokalitě ST-3 za roky 2008, 2009, 2010	45
Graf 13: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-4, rok 2008	48
Graf 14: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-4, rok 2009	48
Graf 15: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-4, rok 2010	49
Graf 16: Porovnání prům. měsíčních teplot půdy v lokalitě ST-4 za roky 2008, 2009, 2010	49
Graf 17: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-5, červenec - prosinec 2009	52
Graf 18: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-5, leden - srpen 2010	52
Graf 19: Porovnání průměrných měsíčních teplot půd v letech 2008, 2009 a 2010 v lokalitách ST-1 až ST-5, hloubka 15 cm	54
Graf 20: Porovnání průměrných měsíčních teplot půd v letech 2008, 2009 a 2010 v lokalitách ST-1 až ST-5, hloubka 30 cm	55
Graf 21: Průměrné roční teploty půdy v letech 2008 a 2009	55
Graf 22: Průměrné měsíční teploty vzduchu v údolí Adygine	56
Graf 23: Poloha roční nulové izotermy teploty vzduchu v údolí Adygine	57

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Základní charakteristika údolí řeky Adygine.....	19
Tab. 2: Charakteristika ledovců v údolí Adygine	21
Tab. 3: Termíny vyhodnocování teplotních režimů	28
Tab. 4: Souřadnice lokalit dataloggerů	29
Tab. 5: Průměrné měsíční teploty v lokalitě ST-1 pro roky 2008, 2009 a 2010	34
Tab. 6: Charakteristiky regelačních období v lokalitě ST-1	36
Tab. 7: Průměrné měsíční teploty v lokalitě ST-2 pro roky 2008, 2009 a 2010	38
Tab. 8: Charakteristiky regelačních období v lokalitě ST-2	41
Tab. 9: Průměrné měsíční teploty v lokalitě ST-3 pro roky 2008, 2009 a 2010	43
Tab. 10: Charakteristiky regelačních období v lokalitě ST-3	46
Tab. 11: Průměrné měsíční teploty v lokalitě ST-4 pro roky 2008, 2009 a 2010	47
Tab. 12: Charakteristiky regelačních období v lokalitě ST-4	50
Tab. 13: Průměrné měsíční teploty v lokalitě ST-5 pro roky 2009 a 2010	51
Tab. 14: Charakteristiky regelačních období v lokalitě ST-5	53
Tab. 15: Průměrné měsíční teploty vzduchu v údolí Adygine.....	56

1. ÚVOD

Zájmové území se nachází v předpolí ledovce Adygine v severně orientovaném údolí Kyrgyzského hřbetu, v oblasti severního Ťan-Šanu. Toto údolí se nachází vysoko v horském prostředí, v rozmezí nadmořských výšek 2260–4257 m n. m. Teplotní měření půd proběhlo v pěti lokalitách umístěných na glacigenních sedimentech pod čelem ledovce. Vzhledem k horským klimatickým podmínkám lze na sledovaných lokalitách očekávat výraznější chod teplot v povrchové vrstvě sedimentů než v malých nadmořských výškách. Měření teploty vzduchu proběhlo ve dvou lokalitách. Vzájemný vztah mezi průměrnou roční teplotou vzduchu a povrchovou částí zemského povrchu umožňuje využít naměřená data jako indikátor dolní hranice horského permafrostu, polohy věčnosněžné čáry a teplotního režimu nedalekého ledovce.

Cílem práce je vyhodnotit teplotní režim povrchové vrstvy morén v údolí Adygine za účelem interpretace těchto výsledků k průběhu recentní věčnosněžné čáry, poloze nulové izotermy, hranice permafrostu a určení teplotního režimu ledovce Adygine.

Bakalářská práce se skládá ze tří částí. V první části je zpracována rešerše na výše uvedené téma. Ve druhé jsou prezentovány výsledky zpracování teplotních řad půdy naměřených na pěti lokalitách v zájmovém území a teplotních řad vzduchu ve dvou lokalitách. Ve třetí části práce jsou výsledky měření diskutovány s ohledem na rozšíření permafrostu v údolí Adygine a podmínky na hranici periglaciálního a glaciálního prostředí v severně orientovaném údolí Kyrgyzského hřbetu (severní Ťan-Šan).

2. TEPLOTNÍ REŽIM SEDIMENTŮ V HORSKÉM PROSTŘEDÍ

2.1. Teplotní režim a jeho charakteristiky

Teplotní režim vrchní části litosféry je výsledkem teplotní interakce mezi okolním prostředím a podkladovou vrstvou. Množství tepla, přicházejícího na Zem z atmosféry je přibližně o tři řády větší, než teplo dodávané z vnitřku Země. Proces přenosu tepla na Zemi probíhá obvykle prostřednictvím vyzařování, proudění a vedení tepla (Yershov, 2004). Na povrchu závisí přenos tepla na teplotě vzduchu a povrchové teplotě půdy. Vytváří nedílný dopad na kolísání teploty vzduchu, vegetace, změny sněhové pokrývky, fázové změny a změny slunečního záření na povrch půdy (Demetrescu et al., 2007).

Teplotní režim vzduchu v horském prostředí je ovlivněn mnoha faktory. Horstva v kontinentálních regionech se vyznačují vyššími úhrny slunečního záření než pohoří v přímořských oblastech. Denní a roční rozpětí teplot vzduchu je výrazné a snižuje se s nadmořskou výškou, protože s rostoucí nadmořskou výškou klesá tepelná kapacita vzduchu. Klíčovou roli v charakteru lokálního klimatu hraje také topografie, zejména z důvodu svažitosti, polohy a expozice povrchu (Beniston, 2006). Ve středních a vyšších zeměpisných šířkách severní polokoule přijímají více sluneční energie svahy orientované na jih a západ, a proto mají větší teplotní amplitudu než svahy orientované k severu a východu (Beniston, 2006; French, 2007). Srážky jsou také citlivé na místní charakteristiky, důsledku orografického efektu jsou však nejvyšší úhrny vázány na návětrné horské svahy (Beniston, 2006).

Různé procesy, jako jsou změny sněhové pokrývky, krajinného pokryvu nebo srážek, ovlivňují vztah mezi teplotou vzduchu a půdy a tím i povrchový přenos energie (Demetrescu et al., 2007). Existuje lineární negativní korelace mezi výškou sněhové pokrývky a hloubkou promrzání půd. Když horské půdy mrznou během začátku zimy, může malá vrstvička sněhu a později sněžení způsobit, že začne teplota půdy opět stoupat. V tomto případě může půda roztát navzdory klesající okolní teplotě vzduchu (Körner, 2003).

Krátkodobé teplotní výkyvy teploty půdy mohou mít jak denní, tak cyklická kolísání, které se těžko odlišují. Denní výkyvy jsou většinou důsledkem slunečního záření a povrchového ohřívání, způsobeného různým úhlem a azimutem Slunce. Ve středních šířkách, kde se zkoumané území nachází, se denní výkyvy projevují více a objevuje se vliv orientace svahů. Na jižně a západně orientovaných svazích severní polokoule jsou teploty u povrchu půdy mnohem

vyšší ve srovnání s orientovanými jinak. Značné kolísání teploty půdy může být rovněž výsledkem místních klimatických jevů cyklonálního původu (French, 2007). S hloubkou půdního profilu se denní amplitudy teplot podstatně zmenšují. V rovinatém terénu jsou teploty nižší než v hřebenitém terénu a na teplotu půdy má znatelný vliv i barva. Tmavé, skoro černé půdy přijímají, ale i vydávají více tepla – amplitudy teplot zde dosahují nejvyšších hodnot (Smolík, 1957). Suchá půda bez vegetace může být o 1°C nebo 2°C teplejší, než vlhká půda s vegetací (French, 2007).

Denní chod teploty povrchu půdy i teploty ve všech hloubkách má většinou jedno maximum a jedno minimum. Doba nástupu denního maxima a minima se s hloubkou zpožďuje v průměru na každých 10 cm hloubky o 2 až 4 hodiny (Tolasz et al., 2007). K nejvyšší povrchové teplotě půdy dochází většinou hodinu po sluneční kulminaci, k nejnižší teplotě těsně před východem slunce. Nejvýraznější denní chod teploty půdy můžeme pozorovat za jasného počasí v teplé části roku (Smolík, 1957; Tolasz et al., 2007). V řadě dní je ovšem tento „ideální“ průběh narušen vlivem srážek, sněhové pokrývky nebo oblačnosti. Ve volné krajině je teplota půdy ovlivňována ještě řadou dalších faktorů, např. expozicí místa, druhem porostu, zastíněním, u zemědělských půd agrotechnickými postupy či zavlažováním (Tolasz et al., 2007).

Počátek sezony tání je určen jako první jarní den s převládající pozitivní přízemní teplotou (datum, po kterém je teplota mnohem častěji pozitivní než negativní). Podobně počátek sezony mrznutí je stanovený na první podzimní den s převládající negativní přízemní teplotou (Fahey, 1973). Sezónní roztávání půdy probíhá mezi teplotami +2 °C až -4 °C (French, 2007). Toto roztávání půdy probíhá po více než sedm měsíců ročně. Půda taje respektive mrzne do hloubky několika centimetrů až metrů (Yershov, 2004). Směrem k povrchu se délka sezónního tání a mrznutí postupně zkracuje. Většinou k jarnímu tání dochází rychleji a kolem 75% půdy roztaje během prvního měsíce nebo 5 týdnů od doby, kdy teploty vzduchu vzrostou nad 0°C (French, 2007).

Regelační cyklus, neboli tzv. cyklus mrznutí a tání, zahrnuje fázovou přeměnu vody a roztoků obsažených v půdě, skále a jiném materiálu (French, 2007). Regelační cyklus pozůstává z jedné periody mrznutí a tání až do dalšího mrznutí (Kvaerno, 2006). Hranice působení regelačních procesů je většinou stanovená teplotou, ve které nastává promrzání půdy. Většinou je stanovena na teplotu 0°C i když je obecně akceptováno, že mrznutí ve skutečnosti nemusí proběhnout při této teplotě (Hall, 2004). Je to způsobené nejen fyzikálním vlivem atmosféry, ale především fyzikálními a chemickými vlastnostmi samotné půdy, případně jejího skalního podloží (French, 2007). Půdní vlhkost, nebo voda v půdě obvykle obsahuje minerální soli a ty snižují teplotu mrznutí. Protože je obsah soli v půdě nízký, je bod mrazu snížen o 0,1°C pod 0°C (French, 2007). Při mrznutí půdy hodně záleží na tlaku, teplotě a velikosti zrn.

Množství nezmrznuté vody v půdě je závislé na teplotě a zrnitosti. Při teplotě $-0,2^{\circ}\text{C}$ v písčitém sedimentu již jen 0,3% nezmrznuté vody, zatím co u písčité hlíny je to 18% a u jílu 42% (Washburn, 1973).

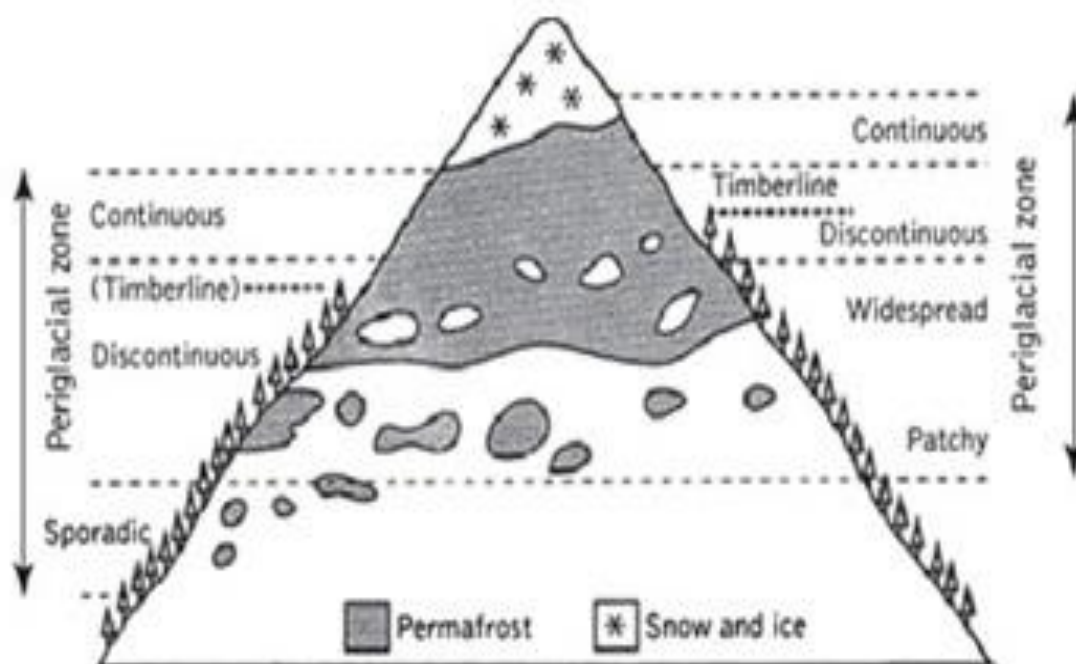
Regelace se projevuje v různých časových a prostorových měřítkách (French, 2007). Počet dnů, ve kterých přechází teplota přes 0°C v příslušné lokalitě, je proto významným ukazatelem pro posouzení intensity kryogenních procesů (Fahey, 1973; Midriak, 1983). Při hodnocení frekvence a účinnosti regelačních cyklů v horninovém materiálu je potřeba brát do úvahy vše, včetně izolačního účinku sněhu a vegetace, charakteru horninového materiálu a útlumu kolísání teploty s hloubkou (Hall, 2004). Dahl (1955) uvádí, že dále ve vnitrozemí klesá počet regelačních cyklů se vzrůstající nadmořskou výškou.

Pásmo, ve kterém střídavě taje a mrzne půda při přesahu teploty přes 0°C se nazývá aktivní (činná) vrstva (Sekyra, 1958). Na tento horizont se svým výskytem váže většina recentních kryogenních jevů (Sekyra, 1960). Z geologického hlediska je teplota půdy důležitější, než teplota vzduchu. Vztah mezi nimi není lineární a je hlavně řízen zářením, sněhovou pokrývkou, reliéfem, druhem podkladu, vlhkostí a vegetací (Gonzáles et al., 2009).

2.2. Hraniční teplotní charakteristiky glaciální zóny a permafrostu

Permafrost je definovaný jako půda, jejíž teplota zůstává na nebo pod 0°C nejméně dva po sobě jdoucí roky (French, 2007; Etzelmüller, Hagen, 2005). Ledovec a permafrost se často vyskytují současně, a proto tady existuje možnost jejich vzájemného působení. Tudíž, znalost jejich vzájemného působení vede k lepšímu porozumění tvorby ledovcového reliéfu a je velmi důležitá při diskuzích ohledně ledovcových procesů a geotechnických nebezpečí (Etzelmüller, Hagen, 2005).

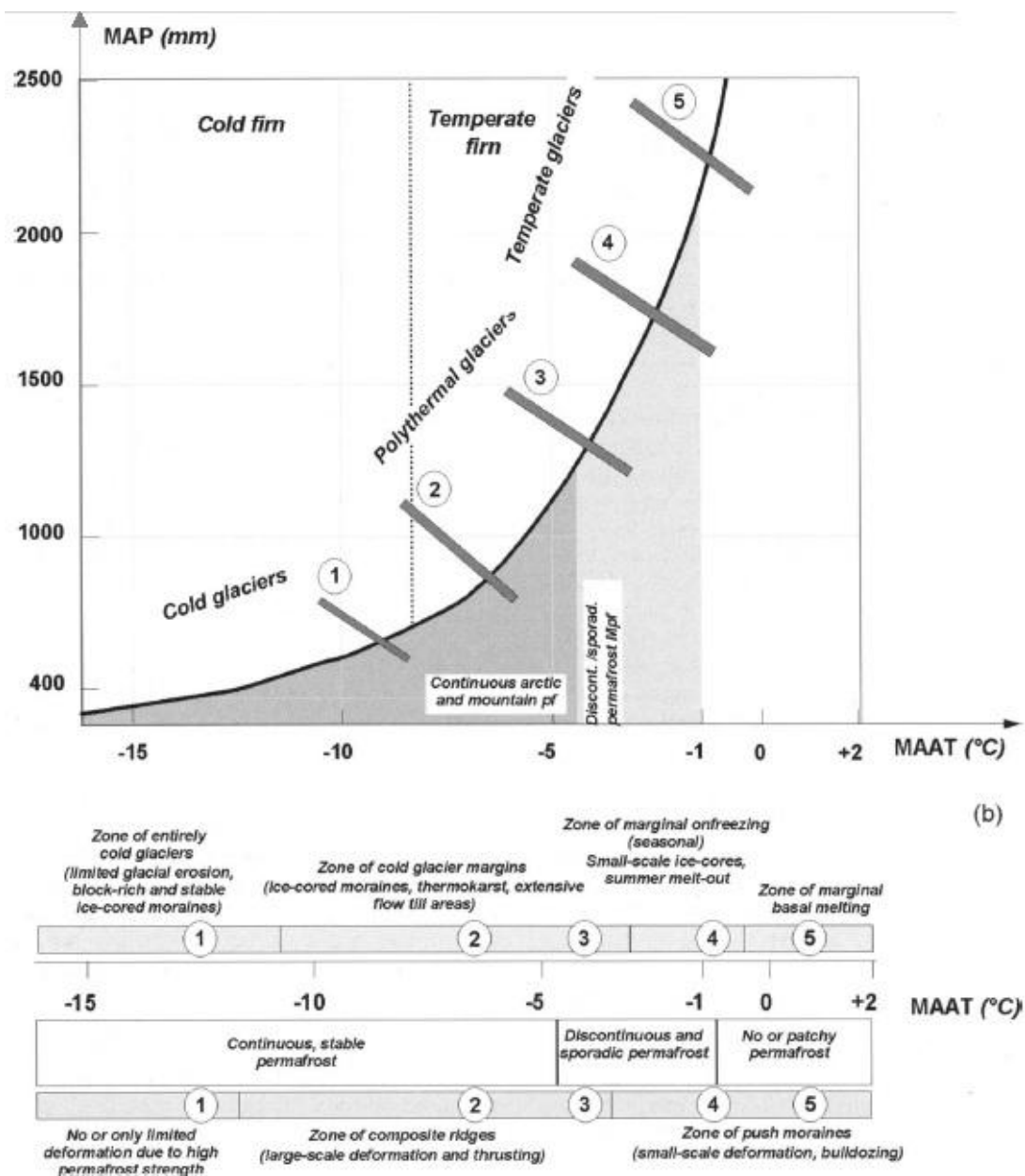
Obr. 1: Schematický diagram zobrazující periglaciální zónu v alpínské oblasti
(Continuous – souvislý, Discontinuous – nesouvislý, Sporadic – sporadický permafrost)



Zdroj: French (2007)

Permafrost se podle rozsahu pokrytí území dělí na souvislý (90-100%), nesouvislý (50-90%), sporadický (10-50%) nebo izolovaný (0-10%) (Anderson, 2010; French, 2007, viz také obr. 1). Souvislý permafrost obvykle vyznačuje přítomností mocné vrstvy trvale zmrzlé půdy, která je rozložená rovnoměrně po celé ploše území. Nenachází se pouze v hloubce, pod rozlehlými jezery nebo řekami. Nesouvislý permafrost má menší mocnost a obsahuje zóny bez zmrzlé půdy zvané taliky. Sporadický permafrost zahrnuje izolované oblasti zmrzlé půdy (Ritter et al., 2011).

Obr. 2: Vztah mezi průměrnou roční teplotou vzduchu (MAAT) a průměrnými ročními srážkami (MAP) na linii rovnováhy ledovce (ELA), dále vztah mezi (horským) permafrostem a bází ledovce



Zdroj: Etzelmüller, Hagen, 2005

Souvislý permafrost se nachází v oblastech, ve kterých průměrná roční teplota vzduchu nabývá hodnot $< -4^{\circ}\text{C}$, nesouvislý permafrost tam, kde je průměrná roční teplota vzduchu $< -1^{\circ}\text{C}$ a žádný nebo pouze ostrůvkovitý permafrost se vyskytuje při teplotách vzduchu $> -1^{\circ}\text{C}$ (viz Obr. 2). V závislosti na topografii, expozici svahu, pokryvu a sněhové pokrývce může docházet k odchylkám (Etzelmüller, Hagen, 2005). Průměrná roční teplota půdy (MAGT) u souvislého permafrostu dosahuje hodnot v rozmezí od -1°C do i více než -15°C , u nesouvislého

permafrostu $>-2^{\circ}\text{C}$. Nižší teploty u nesouvislého permafrostu než -2°C lze najít v oblastech překrytých rašelinami, nebo ve vysokých nadmořských výškách (Romanovsky et al., 2010).

Mnoho ledovců, které se nachází v oblasti permafrostu je charakterizováno relativně nízkou mírou akumulace a krátkým obdobím ablace, které trvá obvykle kolem 2–4 měsíců během léta. To vede k menší fluktuaci masy a k nižšímu průtoku roztáté vody v porovnání s mírným pásmem (Etzelmüller, Hagen, 2005). Morfologicky viditelná interakce mezi ledovcem a permafrostem existuje zejména v oblastech, kde ledovec končí v prostředí permafrostu. Schopnost země vést teplo a geotermální gradient regulují rozložení a tloušťku permafrostu (Etzelmüller, Hagen, 2005). Teplota ledovce je ovlivňována třemi zdroji tepla. Za prvé teplem přicházejícím do ledovce prostřednictvím jeho povrchu, za druhé teplem přicházejícím do jeho bázi (geotermální tok tepla) a za třetí teplem vznikajícím vnitřním třením v ledovci za pohybu (Demek, 1987). Ledovce mají schopnost vést teplo po ledovcovém dně v akumulačních oblastech, a tudíž mohou podporovat rozvoj uzavřených nebo otevřených taliků v podložních sedimentech nebo ve skalním podloží (Etzelmüller, Hagen, 2005).

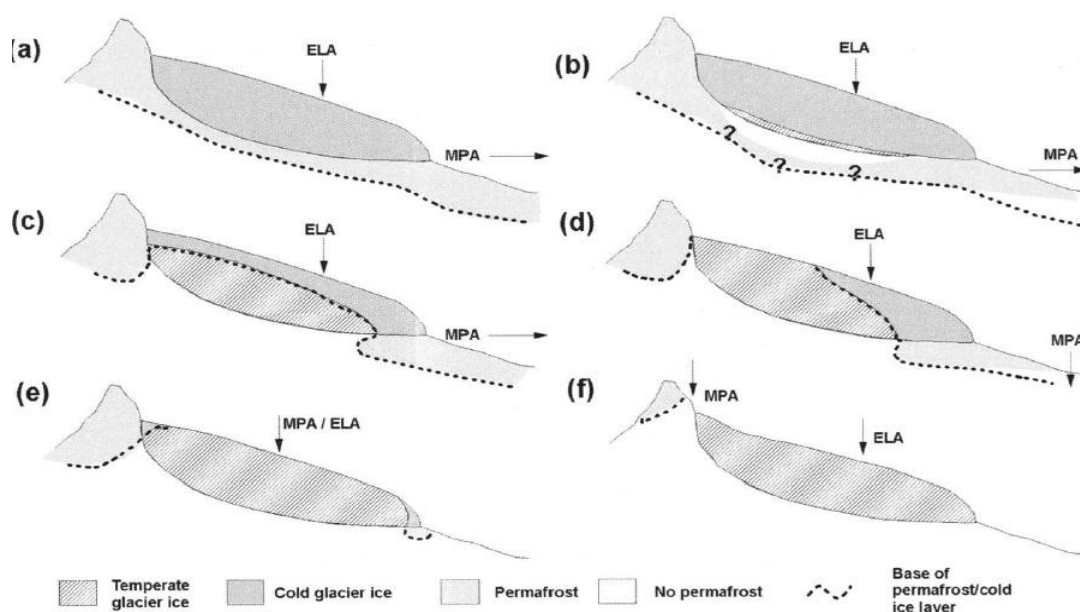
Obecně se dá očekávat, že ledovce mají studenou bázi, když se izoterma 0°C (ELA, linie rovnováhy ledovce) nachází na nebo nad dolní hranicí rozšíření permafrostu v regionu (izoterma horského permafrostu, MPA) (Obr. 3) (Etzelmüller, Hagen, 2005). U chladných ledovců, u kterých izoterma 0°C leží v horninách podloží ledovce a ledovec spočívá na permafrostu, dochází k pohybu ledovce nad jeho bázi na hranici mezi čistým ledem a bazální vrstvou s úlomky hornin. Studenou bázi mají obvykle tenké ledovce v Arktidě nebo ve vyšších zeměpisných šířkách než je izoterma horského permafrostu, hluboko pod hranicí ledovce (Obr. 3a).

Podle Etzelmüllera a Hagena (2005) v teplejších a vlhčích oblastech, kde dochází k letnímu tání, je led v akumulační oblasti teplejší. Je to způsobeno latentním teplem, které se uvolňuje při opětovném zmrznutí již roztátého ledu, což vede k nižší (Obr. 3b,c) nebo úplně chybějící (Obr. 3d) tlakové teplotě tání v akumulačním území (Etzelmüller, Hagen, 2005).

Ledovce, ve kterých je přítomný jak teplý led (teplota stejná jako teplota tlakového tavného bodu), tak studený led (teplota nižší než teplota tlakového tavného bodu) se nazývají polytermální ledovce. V takových případech okrajové části akumulační oblasti mohou být na straně úbočí zmrzlé a na čelních stěnách teplé. Mezní zóna ledovce může být zmrzlá až k podloží. Mnoho takových příkladů je známo z Arktidy, například Svalbard, nebo v arktické Kanadě (Etzelmüller, Hagen, 2005). Dalším teplotním typem jsou vysokohorské ledovce. Tyto ledovce mají převážně studenou akumulační oblast. Začínají nad a končí pod izotermou horského permafrostu (Obr. 3e). Ledovce, u nichž je linie rovnováhy ledovce umístěna pod izotermou horského permafrostu, jsou ledovce s teplou bázi (Obr. 3f).

Obr. 3: Schematické zobrazení termálních režimů ledovců a permafrostu v horském prostředí.
Poloha izotermy 0°C

- a) Čistě studený ledovec. $\text{MPA} \ll \text{ELA}$.
- b) Převážně ledovec se studenou bází s teplou vrstvou podél rozhraní ledovec-půda. $\text{MPA} \ll \text{ELA}$.
- c, d) Polytermální ledovec s teplým ledovcovým ledem podél většiny dna a v akumulační oblasti, $\text{MPA} < \text{ELA}$.
- e) Převážně ledovec s teplou bází, buď se studenými políčky, nebo na čelní ploše, nebo v suchých a studených akumulačních oblastech. Například Alpy. $\text{MPA} \approx \text{ELA}$ nebo $\text{MPA} > \text{ELA}$. Pro zcela teplé ledovce, kde $\text{MPA} \gg \text{ELA}$.
- f) Ledovec s teplou bází.



Zdroj: (Etzelmüller, Hagen, 2005)

Chladný ledovec spočívá na permafrostu a dochází k pohybu nad jeho bází na hranici mezi čistým ledem a bazální vrstvou s úlomky hornin. V takovém případě nevytváří ledovec svérázné glaciální tvary (Demek, 1987). U teplých ledovců, kde izoterma 0°C leží při bázi ledovce a ledovcové podloží není zmrzlé, dochází ke glaciální erozi (Demek, 1987; Horník, 1986). Účinky ledovcové eroze můžeme sledovat především ve vysokohorských oblastech, které byly v pleistocénu zaledněny a z nichž změnou klimatických poměrů ledovce ustoupily (Horník, 1986).

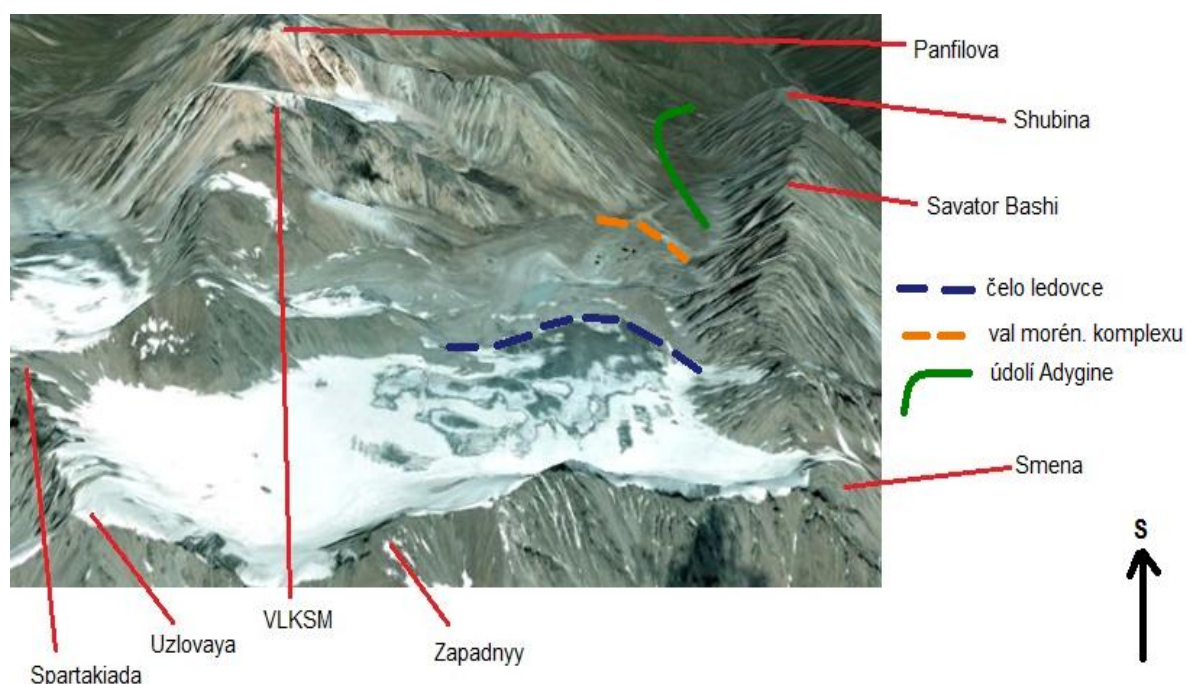
3. ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

3.1. Vymezení

Zájmové území se nachází v severovýchodně orientovaném údolí Kyrgyzského hřbetu v severním Ťan - Šanu. Kyrgyzský hřbet je dlouhý asi 400 km a 80 km široký (Černík, Sekyra, 1969). Táhne se západovýchodním směrem od hranic s Kazachstánem po západní břeh jezera Issyk-Kul. Na severu je lemován Čujskou dolinou, v níž leží i hlavní město Biškek. Nejvyšší vrcholy pohoří dosahují výšek téměř 5000 m (Černý, 2006).

Údolí bystřiny Adygine leží na severní straně Kyrgyzského hřbetu. Jedná se o ledovcem modelované údolí, které leží v nadmořské výšce 2260 – 4257 m n. m. přibližně 40 km od hlavního města Biškeku. Horní část údolí pod hřebenem Kyrgyzského hřbetu vyplňuje karový ledovec Adygine (Černý, 2006). Ledovec Adygine vyplňuje údolní uzávěr v severním svahu Sokuluského hřebene. Leží mezi vrcholy Spartakiáda (4220 m n. m.) a Smena (4110 m n. m.). Tento ledovec je orientován severně, ale i navzdory příznivé orientaci stéká z akumulčních oblastí pouze krátký ledovcový splaz. Čelo tohoto splazu končí ve výšce 3605 m (Černý, 2006). Délka údolí Adygine od ústí řeky Adygine k úpatí ledovce činí zhruba 8,5 km. Údolí je z obou stran obklíčené strmými hřbety, je znázorněné na obrázku 4. Pod ústím největšího levostranného přítoku ledovce se nachází trog proříznutý hlubokým erozním zářezem. Na východě se jedná o Sokukulský hřbet, jehož nejvyšší vrchol činí 3909,4 m n. m. a nese jméno Shubina, dále po směru hodinových ručiček se nad údolím tyčí vrcholy Savator-Bashi (3958,7 m n. m.), Smena (4110,7 m n. m.), Zapadnyj (4198 m n. m.), u jižního vrcholu ledovce vrchol Uzlovaya (4194,9 m n. m.) a na západní straně údolí se nachází vrcholy Spartakiada (4220,7 m n. m.), VLKSM (4219 m n. m.) a Panfilova (4257 m n. m.), který je z nich nejvyšší. V předpolí ledovce se nachází rozsáhlý morénový komplex. Většina území údolí Adygine se nachází nad hranicí stromů, která je přibližně v 2600 m n. m. Zhruba do 3100 m n. m. se nachází souvislé alpínské louky, které se vyznačují četností půd a travní vegetací. Ve vyšší nadmořské výšce se nachází již pouze morénové sedimenty a slabě vyvinuté skeletovité půdy (Ala Archa Natural Park, 1999). Nad hranicí stromů je možné se setkat s drnovitými hemikryptofty, chamaefyty a malými kryptogamy jen pokud jim to umožní sníh a mráz (Ellenberg, 1988). Při postupu do vyšších nadmořských výšek se kompaktní porosty rozpadají na ostrůvky a postupně se vytrácejí mezi kamením. Pro sub-nivální stupeň je charakteristická jen řídká přítomnost hustěji nahlučených cévnatých rostlin, ačkoliv je zde stále přítomno mnoho druhů (Ellenberg, 1988).

Obr. 4: Údolí Adygine s nejznámějšími vrcholy



Zdroj: Aplikace Google Earth (2012)

Tab. 1: Základní charakteristika údolí řeky Adygine

údolí řeky Adygine	
plocha povodí	39,57 km ²
délka rozvodnice	31,2 km
nejvyšší bod	4 257 m n. m.
nejnižší bod	2 260 m n. m.
prům. sklon povodí	37,70%

Zdroj: Černý (2011)

3.2. Geologická a geomorfologická charakteristika

Pohoří Ťan-Šan se skládá hlavně z krystalických a sedimentárních hornin z období paleozoika (mezi 540 až 250 mil. let). Mezihorské pánve jsou vyplněné mladšími fluvialními a lakustrinnými sedimenty. Na většině území severního a východního Ťan-Šanu se nachází intruzivní vyvřelinové výchozy, které prošly vrásněním během starší prvohorní orogeneze. Toto území se poté zvedlo a vysušilo, zatím co původní sedimenty téměř kompletně zerodovaly. Jižní a západní část Ťan-Šanu se skládá z metamorfovaných hornin a vykazují nižší míru intrusivních a extrusivních vulkanitů. Tyto regiony se během starších prvohor zvrásnily. Nová etapa vývoje začala v polovině třetihor a trvá dodnes (Charreau et al., 2005).

Kyrgyzský hřbet tvoří granitoidní a sedimentární částečně metamorfované staropaleozoické horniny. Karbonátové horniny bývají intenzivně zkrasovělé a místy se vyvinul velehorský kras (Černík, Sekyra, 1969). V mnoha částech vysoce vyzdviženého reliéfu se zachovaly relikty starého denudovaného povrchu, do kterého se zařizly mladoterciární až pleistocénní toky. Výsledkem mladých výzdvihů jsou velehorské skupiny s typickou ledovcovou modelací, jako jsou štíty, kary a dlouhá zahloubená přemodelovaná údolí (Farrington, 2005). Podle geologické mapy 1:100 000 (Geologická mapa 1 : 100 000, 1960) je geologická stavba zkoumaného území poměrně homogenní. V severní části údolí (od čela ledovce níže) dominují hlubinné vyvřeliny a to žuly z období svrchního ordoviku. Ve spodní části (v okolí prvního pravého přítoku do řeky Adygine) jsou vyvřeliny dioritu, což je intruzivní magmatická hornina, také z období svrchního ordoviku. Obě tyto části tvoří kaledonskou intruzi. A třetí skupinou, o rozloze podobné jako skupina vyvřelin dioritu, jsou ostrůvkovitě rozmístěná místa v jihozápadní části (u ústí bočných údolích), tvořená konglomeráty (neboli slepenci), pískovci, kvarcity a tufa mi. Úpatí skalních svahů a dno údolí většinou pokrývají sedimenty. Jedná se převážně o ledovcové sedimenty, které jsou tvořené nevytřídněným nezvrstveným materiálem a svahovými sedimenty (koluvium).

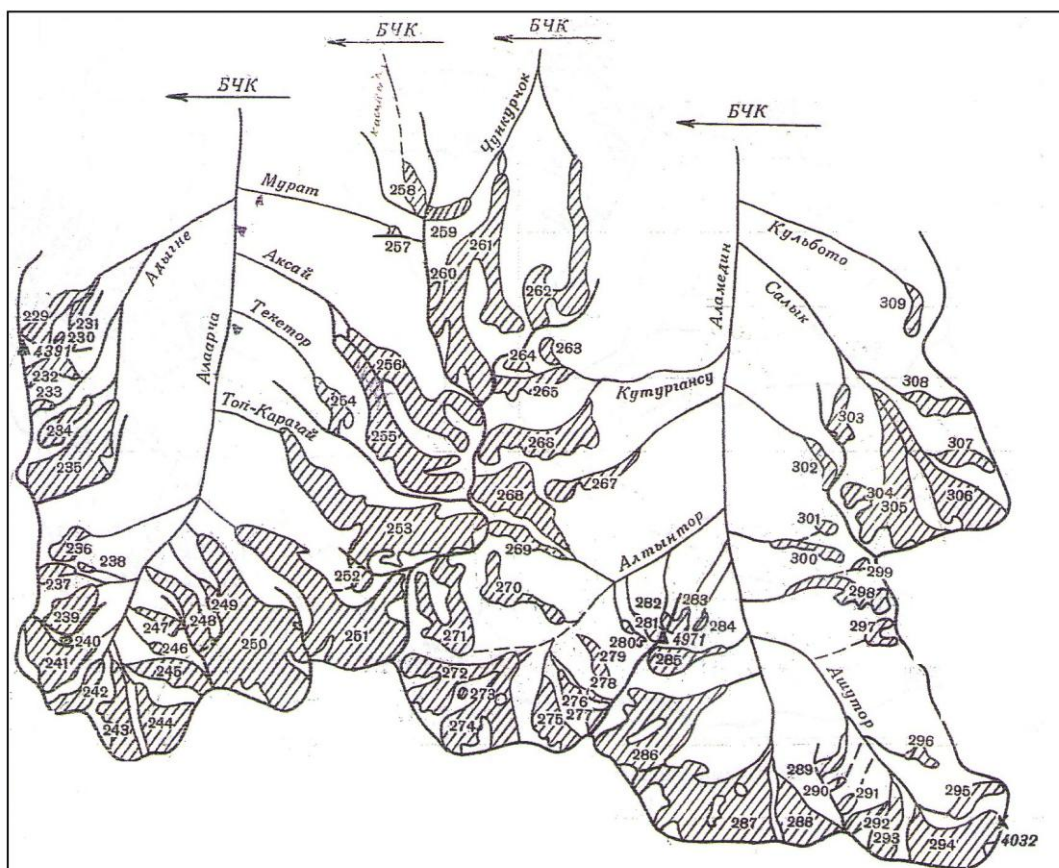
Na severních svazích Kyrgyzského hřbetu, kde se nachází i oblast Ala Arča a Zailijský hřbet se vyskytuje glaciální a fluvioglaciální reliéf. Kvartérní glaciální tvary, jako jsou trogy, kary, morény jsou pozorovatelné v nadmořské výšce nad 3000 m n. m. (Aizen et al., 1996). Mírně ukloněné dno hlavního údolí řeky Adygine vyplňují blokové akumulace, které pokrývají relikty starého ledovcového splazu. V souvislosti s degradací pohřbeného ledu se na povrchu degradace vyvíjí množství depresí, ve kterých vznikají termokrasová jezera. Ve výšce 3450 m n. m. přehrazuje východní polovinu údolního dna strukturně podmíněný skalní stupeň, jehož horní hrana sahá do výšky 3480 až 3600 m n. m. Nejvyšší části skalního stupně, ve výšce 3600 až 3650 m n. m. jsou překryty ledovcovými akumulacemi. Tyto akumulace mají podobu lineárně uspořádaných elevací, které tvoří předpolí ledovce Adygine a současně hráz jezer. Jezera vznikají před ustupujícím čelem ledovcového splazu (Černý, 2006). Celé území je modelované ledovcem, tudíž střední a spodní část má charakter trogu. V horní části se zbíhají vedlejší údolíčka vyplněná akumulacemi a současné zalednění je již pouze ve svrchní části.

Tab. 2: Charakteristika ledovců v údolí Adygine

ledovec	morfologie	orientace	délka ledovce (km)	rozloha ledovce (km ²)	rozloha nezasucené části (km ²)	čelo ledovce (m n. m.)	nadm. výška nejvyšší části ledovce
Adygnete (229)	karový - údolní	SV	3	1,1	0,7	3500	4400
číslo 230	visutý	SV	2,1	0,6	0,4	3600	4100
číslo 231	karový	S	0,3	0,1	0,1	3450	4120
číslo 232	karový - údolní	S	1,8	0,7	0,5	3650	3950
číslo 233	karový	SV	0,4	0,1	0,1	3750	4080
číslo 234	karový	S	1,4	0,6	0,4	3620	3980
Adygine (235)	karový	S	3,6	4,3	3,5	3620	4240

Zdroj: МАКСИМОВ (1973)

Obr. 5: Rozložení ledovců v údolí Adygine (229–235)



Zdroj: МАКСИМОВ (1973)

Charakteristika jednotlivých ledovců v údolí Adygine je popsána v tabulce 2 a poloha těchto jednotlivých ledovců je zobrazená na obrázku 5. Pro oblast Adygine existuje údaj o poloze linie rovnováhy ledovce pouze z roku 1973, tehdy se linie rovnováhy ledovce nacházela v 3910 m n. m. (МАКСИМОВ, 1973). Nyní se již zřejmě bude nacházet výše, v oblasti kolem 4000 m n. m. Aktuálnější údaje o poloze linie rovnováhy ledovce jsou dostupné pouze z okolních oblastí, které se ale svým charakterem odlišují od údolí Adygine. Například v údolí Ala Archa, která s údolím Adygine sousedí, se linie rovnováhy ledovce nachází v nadmořské výšce 3848 m n. m. Průměrná letní teplota vzduchu (červen – srpen) v oblasti linie rovnováhy ledovce dosahuje 2,0°C a každých 100 m se průměrná roční teplota změní o 0,58°C (Aizen, Aizen, 1997). Horské hřbety Zailijský a Kungey Alatau, v nejsevernější části severního Ťan-Šanu, nacházející se přibližně 220 km severovýchodně od zde zkoumaného Kyrgyzského hřbetu, mají průměrnou výšku linie rovnováhy ledovce v 3800 až 3900 m n. m. (Bolch, Marchenko, 2008).

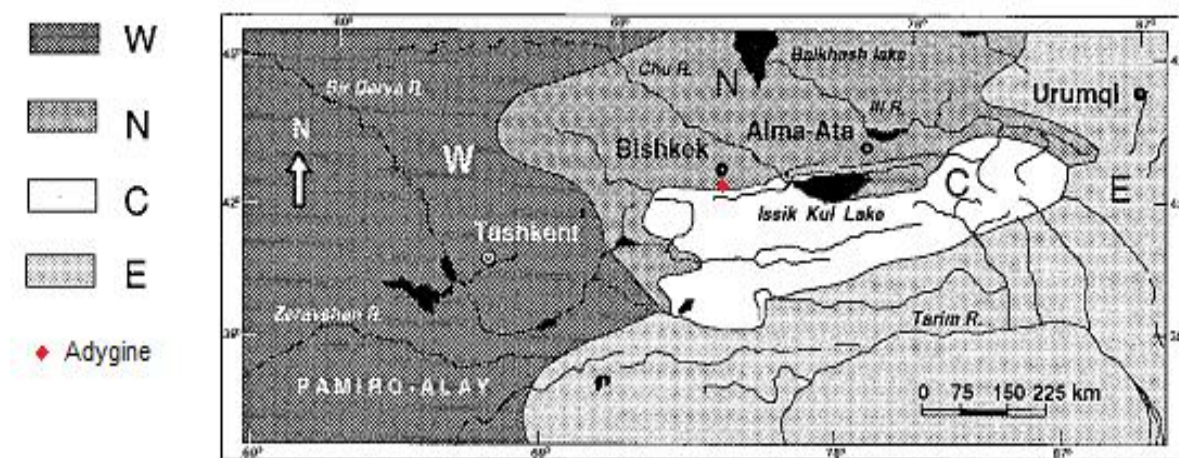
Podobně, jako u polohy linie rovnováhy ledovce, ani o poloze permafrostu nejsou z oblasti Adygine žádné údaje. O poloze linie rovnováhy ledovce existují údaje pouze z okolních oblastí, které nemusí zkoumané oblasti údolí Adygine odpovídat. Souvislý permafrost se v přilehlých horských hřbetech Zailijský a Kungey Alatau (severní Ťan-Šan) nachází v nadmořské výšce nad 3500 m n. m., nesouvislý mezi 3200 až 3500 m n. m. a sporadický mezi 2700 až 3200 m n. m. (Bolch, Marchenko, 2008; Marchenko, Romanovsky, 2006). Malé izolované oblasti s permafrostem lze najít také mnohem níže než 2700 m n. m. Tyto oblasti se nachází na severně orientovaných svazích, nebo zastíněných svazích v 1800 m n. m., kde průměrná roční teplota vzduchu je 3,0 až 4,0°C (Bolch, Marchenko, 2008). Nejnižší hranice rozložení permafrostu v Ťan - Šanu se nyní nachází při teplotě 0°C a v některých místech dochází k jeho degradaci. Geotermální výzkumy a pozorování naznačují, že se v Ťan-Šanu nachází nejlepší podmínky pro přítomnost permafrostu při průměrné roční teplotě materiálu o 2,5 až 4,0°C nižší, než je průměrná roční teplota vzduchu (Marchenko, Romanovsky, 2006). Průměrná roční teplota permafrostu a v severním Ťan - Šanu v nadmořské výšce 3300 m se pohybuje mezi -0,3 až -0,8°C, tloušťka permafrostu je 15 až 90 m a aktivní vrstvy 3,5 až 4,0 m (Marchenko et al., 2007).

3.3. Klimatické a hydrologické podmínky

Hlavní faktor, stanovující klimatický režim, je interakce mezi jihozápadní větví Sibiřské anticyklony a cyklonální aktivitou ze západu (Aizen et al., 1997). Severní region (Obr. 6) je vystaven silnému vlivu Sibiřské anticyklony, což snižuje množství zimních srážek. Na Obr. 7 je zjevné, že maximum srážek (více než 120 mm za měsíc) nastává v jarním a letním období (Aizen et al., 1997, Hagg, 2007). Toto maximum se objevuje současně při tání sněhu a ledu. Srážky vzrůstají s nadmořskou výškou, kromě zimy, kdy se objevuje inverze. Sibiřská anticyklona v březnu slábne a západní cyklona přináší srážky, což je příznivé pro akumulace sněhu a formování ledovce v alpínském pásu. V severním Ťan-Šanu se objevuje pouze jedno maximum srážek a to přibližně v červenci, zatímco v západním Ťan-Šanu jsou maxima dvě, a to na začátku května a v listopadu (Aizen et al., 1996).

Obr. 6: Rozdělení Ťan-Šanu na regiony podle převládajících cirkulačních procesů, režimu srážek a orografických vlastností.

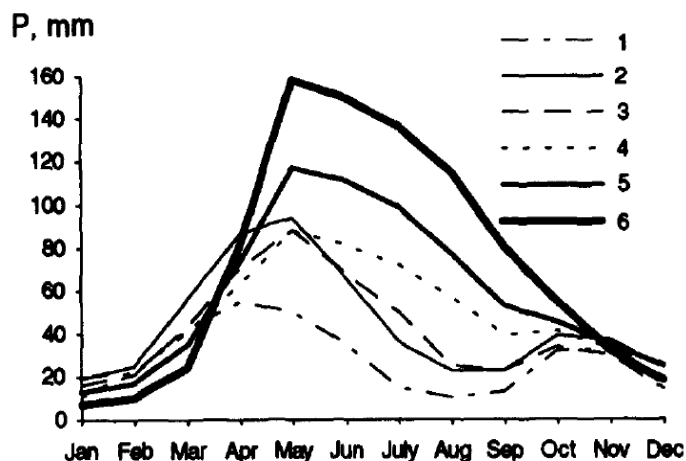
Znázorňuje klasifikaci režimu srážek v oblasti Ťan-Šanu, kde: W – západní Ťan-Šan, N – severní Ťan-Šan, C – střední Ťan-Šan a E – východní Ťan-Šan



Zdroj: Aizen et al. (1997)

Obr. 7: Roční kolísání dlouhodobých průměrných srážek (P) podle nadmořské výšky na severním svahu Kyrgyzského hřbetu.

Kde 1) představuje nadmořskou výšku méně než 1000 m, 2) 1001 – 1500 m n. m., 3) 1501 – 2000 m n. m., 4) 2001 – 3000 m n. m., 5) 3001 – 3500 m n. m., 6) 3501 – 4500 m n. m.



Zdroj: Aizen et al. (1996)

Otevřené severní svahy Kyrgyzského hřbetu jsou ovlivňovány slabou cyklonální aktivitou a studeným vzduchem proudícím ze západu, severozápadu a severu. V nadmořské výšce do 2500 m n. m. se objevují dvě období s maximem srážek (Obr. 7). Hlavní maximum nastává mezi březnem a květnem, kdy dopadne mezi 35 – 45 % ročních srážek, a druhé nastává na podzim (Aizen et al., 1997). Ve vyšších nadmořských výškách dochází jenom k jednomu maximu a to mezi květnem a červnem, kdy dopadne 45 – 55 % z celkových ročních srážek. Srážkové minimum je v ledovcové oblasti pozorovatelné mezi prosincem a lednem, kdy vypadne pouze 2 – 5 % celkových srážek. Průměrné roční srážky dosahují 700 mm a celkově na území dopadne ročně 900 mm srážek (Aizen et al., 1997; Hagg, 2007).

Zkoumané území se nachází v nadmořské výšce 2260 až 4257 m n. m., tudíž podle Obr. 7 spadá do kategorií 4. až 6. V nejvyšších oblastech ledovce Adygine dochází pouze k jednomu srážkovému maximu (cca 160 mm), a to na jaře, v květnu. Pro srovnání, při ústí řeky Adygine spadne v tom samém období maximum srážek ve výši 90 mm.

Zimy ve vysokých polohách jsou drsné, s poklesem teplot většinou v rozmezí -20°C až -30°C . V létě vystupují nejvyšší teploty pod severním úpatím Kyrgyzského hřbetu na 40°C . Ve vysokých nadmořských výškách jsou tyto hodnoty významně nižší (Farrington, 2005). Mezi hlavní znaky horského podnebí patří pokles teploty s výškou průměrně o $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, přičemž v ročních údobích se tento výškový gradient mění. V horách jsou vysoké denní amplitudy až 70°C . Srážky přibývají se vzrůstající výškou až do jistého maxima, pak klesají (Smolík, 1957).

Říčka Adygine vytéká ze stejnojmenného ledovce v nadmořské výšce 3700 m n. m. směrem k severozápadu. Jedná se o řeku 3. řádu s nesouměrně uspořádanou říční sítí, která se přibližně po 6 km vlévá ze západu v nadmořské výšce 2400 m n. m. jako levý přítok do řeky Ala Arča. Řeka Ala Arča je levostranným přítokem řeky Ču, která ústí do bezodtokové oblasti kazachstánského jezera Aščikol (Ala Archa Natural Park, 1999). Základní charakteristiky údolí Adygine jsou v tab. 1. V údolí řeky Adygine se vyvíjejí jezera. Tato jezera se nachází v oblasti rozšířeného údolního dna ve výšce 3200 až 3600 m n. m. V této části má údolí VSV orientaci a od západu do něj ústí dvě vedlejší údolí. Černý (2006) popisuje jezero Horní Adygine jako jezero, které vzniklo v rozsáhlé depresi uvnitř aktivní morény. Je vysoko situované a jeho hráz je tvořena odolným skalním prahem Jeho plocha dosahuje 3,27 ha a objem pánve 208 tis. m³. Odtok z jezera je jak povrchový, tak i podzemní. Odtok z jezera Horní Adygine zásobuje jezero Dolní Adygine, které vzniklo v termokrasové depresi. Objem tohoto jezera během dne značně kolísá (Černý, 2006). Černý (2011) uvedl, že současně se pod okrajem ledovce a v horní části morény se vytvořilo několik typů jezer. Jsou to jezera ledovcová, ledovcovo-morénová, jezera částečně hrazená skalním prahem a termokrasová jezera. V současné době jich je v této lokalitě 22. Většina malých jezer patří k termokrasovému typu a leží na nejmladší generaci morén. Tři z jezer jsou považována za potenciálně nebezpečná. Roční hydrologický režim v této oblasti je silně závislý na teplotách vzduchu. Ledovcový hydrologický režim je typický svými minimálními průtoky v zimním období, prudkým nárůstem průtoků na počátku ablační sezóny a výrazným denním režimem v jejím průběhu (Černý, 2011). Maximální průtoky nastávají během července až září. Hlavní zdroj vody během zimního období představuje bazální odtok. Na počátku ablační sezóny dominuje tavná voda ze sněhové pokrývky, která je v průběhu léta nahrazována tavnou vodou z ledovce (Černý, 2011).

V oblasti Ala Archa se nachází celkem 48 ledovců, pokrývajících plochu 36,31 km². Mezi lety 1943 až 1977 se z celkové plochy ledovců zmenšilo 5,1 % a mezi lety 1977 až 2003 se zmenšilo 10,6 %. Za posledních 150 let, od dob takzvané Malé doby ledové, a zejména od roku 1970, mají ledovce ve střední Asii tendenci se rychle zmenšovat. Od poloviny 19. století do začátku 20. století koncové části ledovců ustoupily přibližně o 1,5 km z 2800 m n. m. do 3100 m n. m. Je to způsobené nárůstem teplot vzduchu a změnami v rozložení srážek (Aizen et al., 1996).

4. METODY PRÁCE

Ve zkoumaném území jsou podpovrchové teploty sedimentárního prostředí sledovány v předpolí ledovce Adygine. Je zde umístěno pět termistorů s datalogery MINIKIN. Tyto datalogery měří teploty v pěti lokalitách (ST-1 až ST-5, Tab. 4) ve výškovém rozmezí 3498-3659 m n. m. (Obr. 8). Nadmořská výška a poloha stanovišť byla zaměřena jednofrekvenčním navigačním přístrojem Garmin eTrex Vista HCx s vestavěným barometrickým výškoměrem. Měření teplot je prováděno v hloubkách 15 a 30 cm pod povrchem ledovcových akumulací. Teploty jsou měřeny odporovými čidly v hodinovém intervalu a ukládány do vestavěné paměti přístrojů MINIKIN. Přesnost měření je $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ (Kučera, 2003).

Při vyhodnocování regelačních cyklů bylo vyhodnoceno 5 datových sad po dvou řadách, tudíž jsem hodnotila celkem 10 teplotních řad. Pět řad bylo z hloubky 15 cm a zbylých pět z hloubky 30 cm. Teplotní měření proběhlo v letech 2008 až 2010. Ne všechny řady byly stejně dlouhé. Většina měření začala 5. 12. 2007 a skončila 4. 9. 2010 (ST-2, ST-3, ST-4, datová řada lokality ST-1 také započala měření 5. 12. 2007 a skončila 4. 9. 2010, ale data z období 22. 7. 2008 až 15. 4. 2009 nebyla k dispozici. Nejkratší datová řada je z lokality ST-5. Nejčastěji vyhodnocuji 5 sezon, a to jarní sezonu 2008, podzimní 2008, jarní 2009, podzimní 2009 a jarní 2010. Jednotlivé úseky měření a přesné sezóny v daných lokalitách jsou zaznamenány v Tab. 3.

Z naměřených dat byly dále vyhodnocené obecné teplotní charakteristiky půdy a regelační charakteristiky.

Obecné teplotní charakteristiky půdy, jako

- průměrné měsíční teploty,
- průměrné roční teploty,
- maximální a minimální roční teploty

Regelační charakteristiky představují vymezení regelačního cyklu

- Přechod teploty půdy hranicí 0°C , i když jak uvádí Hall (2004) je obecně akceptováno, že mrznutí ve skutečnosti nemusí proběhnout při této teplotě.
- Přechod teploty půdy mezními hodnotami intervalu 0°C až $-0,1^{\circ}\text{C}$. Tento interval je sledován z důvodu obsahu soli v půdě, čímž je bod mrazu snížen pouze o $0,1^{\circ}\text{C}$ pod 0°C (French, 2007)

- Přejít teploty půdy intervalem 0°C až $-0,2^{\circ}\text{C}$. Tento cyklus je sledován z důvodu, že množství nezmrznuté vody v půdě je také závislé na teplotě a zrnitosti. Při teplotě $-0,2^{\circ}\text{C}$ se v písčitém sedimentu nachází již jen 0,3% nezmrznuté vody, zatím co u písčité hlíny je to 18% a u jílu 42% (Washburn, 1973)

Dále vymezují regelační sezóny, konkrétně

- jejich začátek a konec (datum)
- délku trvání (počet dní)
- počet dní s přechodem T přes 0°C
- minimální teplotu během regelační sezóny a její datum
- absolutní amplitudu teplotní změny (rozdíl mezi maximální a minimální teplotou regelační sezóny)
- maximální teplotu regelační sezóny.

Tato data jsou mezi sebou navzájem porovnávána, a to jak v rámci jedné lokality a jednoho roku ve dvou hloubkách, tak v rámci jedné hloubky a v průběhu všech naměřených sledovaných sezón.

Teplotní charakteristiky permafrostu

- Souvislý permafrost se nachází tam, kde průměrná roční teplota vzduchu nabývá hodnot $<-4^{\circ}\text{C}$ (Etzelmüller, Hagen, 2005) a průměrná povrchová teplota půdy dosahuje hodnot v rozmezí od -1°C do i více než -15°C (Romanovsky et al., 2010),
- nesouvislý permafrost tam, průměrná roční teplota vzduchu je $<-1^{\circ}\text{C}$ (Etzelmüller, Hagen, 2005) a průměrná povrchová teplota půdy $>-2^{\circ}\text{C}$ (Romanovsky et al., 2010),
- žádný nebo pouze ostrůvkovitý při průměrné roční teplotě vzduchu $>-1^{\circ}\text{C}$ (Etzelmüller, Hagen, 2005).

Kromě půdních teplot vyhodnocují také dvě řady teplot vzduchu. Tyto teploty jsou naměřené v nadmořské výšce 3653 m n. m. a 3913 m n. m. pomocí termistorů s datalogery MINIKIN. Měření proběhlo v hodinových intervalech v roce 2011.

Pomocí těchto dat vyhodnocují *obecné teplotní charakteristiky vzduchu*:

- průměrné měsíční teploty
- průměrná roční teplota
- průměrné záporné teploty
- průměrné kladné teploty

- poloha nulové izotermy teploty vzduchu

Měření teplot vzduchu proběhlo v roce 2011, zatím co měření teplot půdy v letech 2008 až září 2010.

Tab. 3: Termíny vyhodnocování teplotních režimů

Označení dataloggeru	Časový interval měření	Vyhodnocována období
ST-1	5. 12. 2007 - 21. 7. 2008	jarní sezóna 2008
	16. 4. 2009 - 31. 8. 2010	jarní sezóna 2009
		podzimní sezóna 2009
		jarní sezóna 2010
ST-2	5. 12. 2007 - 31. 8. 2010	jarní sezóna 2008
		podzimní sezóna 2008
		jarní sezóna 2009
		podzimní sezóna 2009
		jarní sezóna 2010
ST-3	5. 12. 2007 - 31. 8. 2010	jarní sezóna 2008
		podzimní sezóna 2008
		jarní sezóna 2009
		podzimní sezóna 2009
		jarní sezóna 2010
ST-4	5. 12. 2007 - 31. 8. 2010	jarní sezóna 2008
		podzimní sezóna 2008
		jarní sezóna 2009
		podzimní sezóna 2009
		jarní sezóna 2010
ST-5	28. 6. 2009 - 31. 8. 2010	podzimní sezóna 2009
		jarní sezóna 2010

5. VÝSLEDKY

5.1. Popis stanovišť

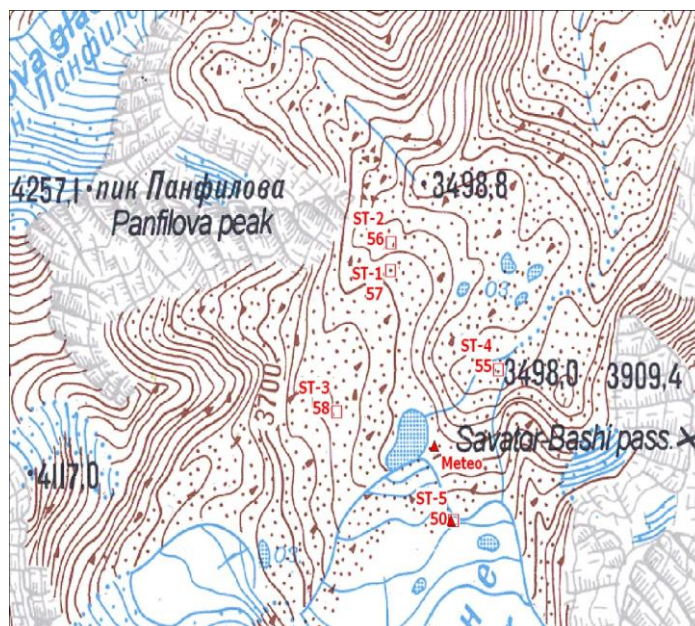
Popis stanovišť vychází z výzkumné zprávy Černého (2011), polohových dat a terénní dokumentace RNDr. Zbyňka Engla, Ph.D. Pro lepší představu bylo při sestavování charakteristiky stanovišť využito programu Google Earth s 3D vizualizací, do kterého byly vloženy souřadnice popisovaných stanovišť.

Stanoviště ST-1 a ST-2 znázorněné na obr. 9 až 11 dokumentují povrch ledovcových akumulací vzdálených přibližně 1 km od čela ledovce Adygine. Povrch hlavního morénového komplexu přibližně 600 m před čelem ledovce reprezentují lokality ST-3 a ST-4. Lokalita ST-3 z 3632 m n. m. se nachází v blízkosti podélné osy údolí. Měřicí čidla jsou umístěna v mělké sníženině 30m na jih od termokrasového jezera. Na stanovišti dominují šterkové pokryvy bez vegetačního porostu. Bezprostřední předpolí ledovcového splazu reprezentuje v nadmořské výšce 3659 m stanoviště ST-5.

Tab. 4: Souřadnice lokalit dataloggerů

Lokalita	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Nadmořská výška (m n. m.)
ST-1	42.5182	74.436	3584
ST-2	42.519	74.436	3559
ST-3	42.5137	74.4332	3632
ST-4	42.515	74.4419	3498
ST-5	42.5103	74.4396	3659

Obr. 8: Umístění dataloggerů a meteostanice v terénu



Zdroj: Ala Archa Natural Park (1999)

Obr. 9: Pohled z údolí na ST-1



Lokalita ST-1 leží v 3584 m n. m. a nachází se 100 m jižně od ST-2, na povrchu plochého nízkého valu (výška do 2m, šířka 4-8m), který tvoří okraj hlavního morénového komplexu. Na povrchu morény je více zastoupená štěrková frakce sedimentů s četnými projevy mrazového třídění a ostrůvky trav.

Obr. 10: Lokalita ST-2 na vnějším valu pohřbeného ledovce



Stanoviště ST-2 leží v 3559 m n. m. a nachází se na povrchu vnějšího morénového valu při vyústění vedlejšího údolí (Obr. 10 a 11), kterým odtéká tavná voda z ledovce Panfilova. Teplotní čidlo je umístěno na plochem temeni morénového valu, které je mírně (5°) nakloněno směrem k podélné ose údolí. Moréna je tvořena hrubými bloky (délka osy a do 1 m) a štěrkovou výplní. Štěrkový materiál je prorostlý travními porosty a místy nese známky mrazového třídění.

Obr. 11: Lokalita ST-2



Obr. 12: Lokalita ST-3 zhruba na úrovni termokrasového jezera



Jak je vidět na Obr. 12, v roce 2009 se na této lokalitě držel sníh ještě v červenci, což výrazně ovlivňuje režim teplot v povrchové vrstvě sedimentů.

Obr. 13: Okolí lokality ST-4



Obr. 14: Okolí lokality ST-4



Lokalita ST-4 dokumentuje východní okraj morénového komplexu a je současně nejnižše položenou dokumentační lokalitou (3498 m n. m.). Teploty se měří na svahovém stupni, který je mírně ukloněný (14°) směrem (190°) k nedalekému termokrasovému jezeru. Termistory jsou umístěny v mrazem tříděných šterkových sedimentech bez vegetačního pokryvu, viz také Obr. 13 a 14.

Obr. 15: Pohled z údolí na ledovec a lokalitu ST-5



Stanoviště ST-5 se nachází 75 m severně od čela ledovce, na vyvýšenině, jejíž povrch tvoří velké bloky (délka osy a do 2 m) v štěrkové až písčité základní hmotě (Obr. 15). Čidla jsou umístěna pod horizontálním povrchem mrazem tříděných štěrků.

5.2. Lokalita dolní Adygine ST-1

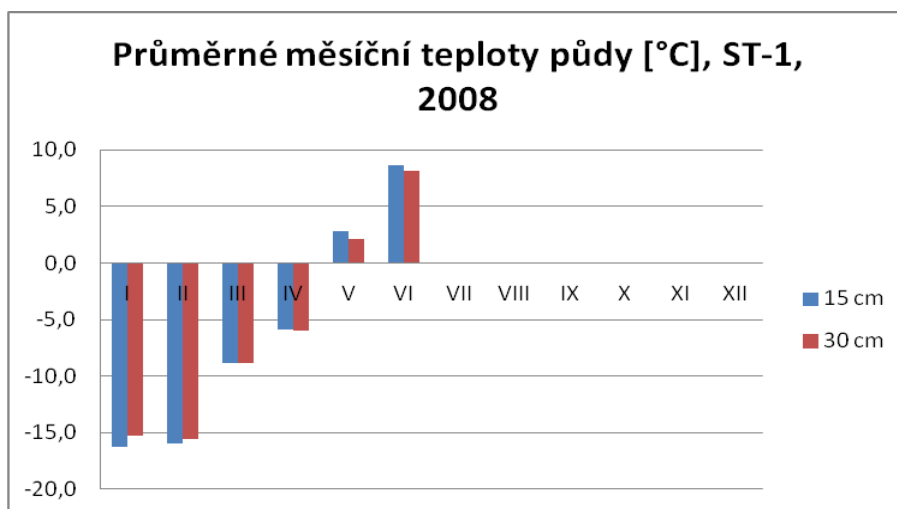
V Tab. 5 jsou zaznamenány průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST- 1 a to pro období leden až červen 2008, květen až prosinec 2009 a leden až srpen 2010 v hloubkách 15 cm a 30 cm.

Tab. 5: Průměrné měsíční teploty v lokalitě ST-1 pro roky 2008, 2009 a 2010

2008			2009			2010		
měsíc	15 cm	30cm	měsíc	15 cm	30cm	měsíc	15 cm	30cm
I	-16,2	-15,3				I	-8,8	-8,6
II	-16,0	-15,6				II	-8,7	-8,5
III	-8,8	-8,9				III	-6,5	-6,4
IV	-5,8	-5,9				IV	-4,2	-4,3
V	2,9	2,1	V	-3,0	-3,1	V	0,0	0,0
VI	8,6	8,1	VI	0,9	0,6	VI	3,8	3,2
			VII	7,7	7,1	VII	8,8	8,2
			VIII	7,6	7,3	VIII	9,4	8,9
			IX	1,4	1,4			
			X	-2,8	-2,3			
			XI	-5,2	-4,9			
			XII	-8,4	-7,9			

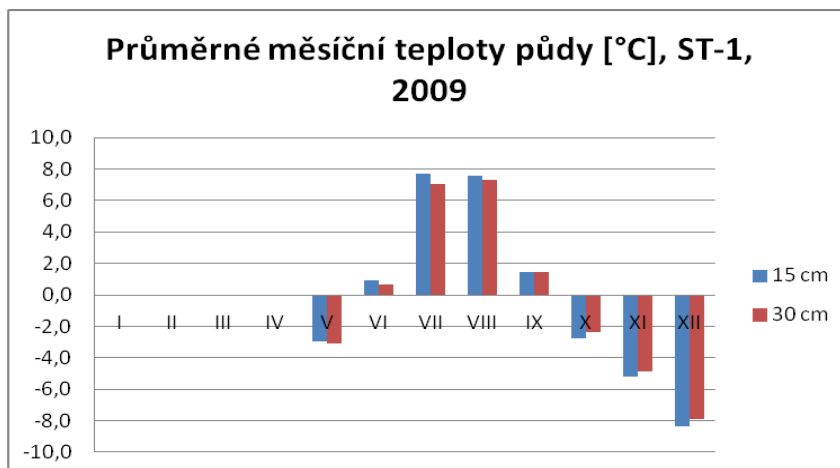
Teplotní záznamy za roky 2008 – 2010 nejsou kompletní, tudíž je možné pouze porovnat některé vlastnosti. V roce 2008 se průměrná teplota půdy nacházela pod bodem mrazu (0°C) mezi měsíci leden-duben (viz také Graf 1). V hloubce 15 cm byl průměrně nejchladnější měsíc leden (-16,2°C) a v hloubce 30 cm byl nejchladnější měsíc únor (-15,6°C). Největší nárůst průměrných teplot nastal mezi měsíci duben (-5,8°C v 15 cm a -5,9°C ve 30 cm) a květen (2,9°C v 15 cm a 2,1°C ve 30 cm).

Graf 1: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-1, leden -červen 2008



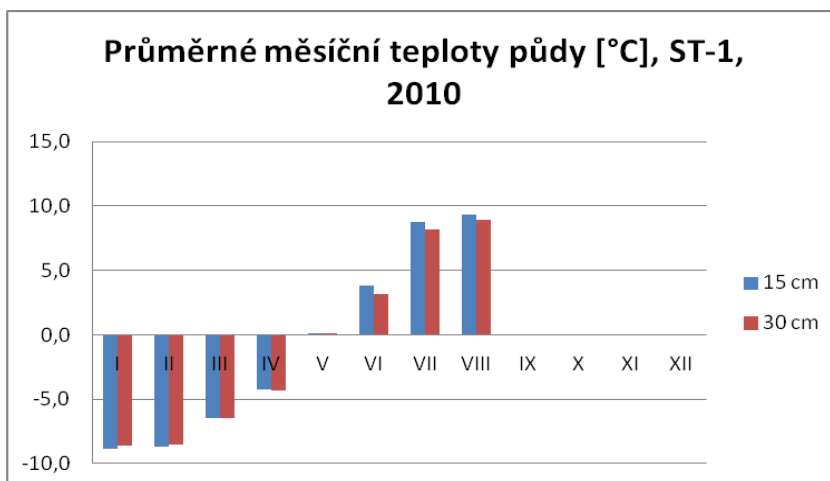
V roce 2009 jsou záznamy pouze od května, ale na rozdíl od roku 2008, tak v tomto roce jsou tyto průměrné teploty v květnu ještě pod 0°C. Nejteplejší měsíc byl pro hloubku 15 cm červenec (7,7°C) a pro 30 cm srpen (7,3°C). Průměrné měsíční teploty padly pod 0°C v říjnu (viz Graf 2) a nižší teplota byla v hloubce 15 cm.

Graf 2: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-1, květen - prosinec 2009



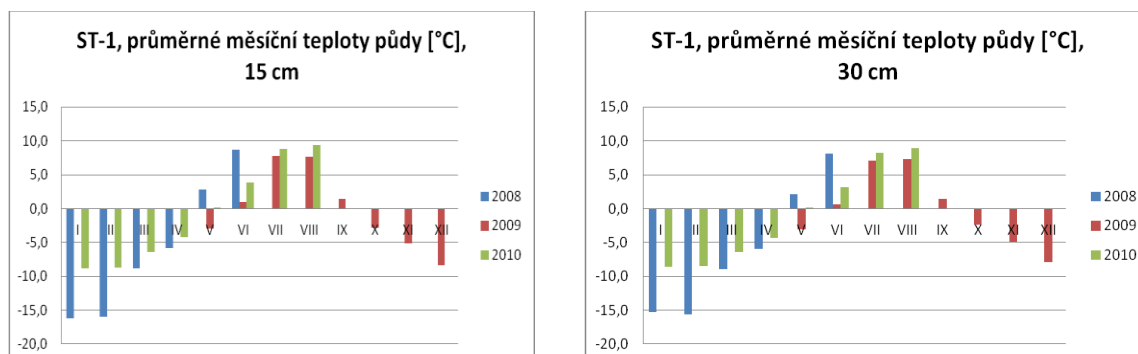
V roce 2010 byla teplotní data pouze do měsíce srpna. I zde, stejně jako v roce 2008 byly průměrné měsíční teploty pod 0°C v měsících leden-duben (Graf 3). Nejchladnější měsíc byl pro obě hloubky leden (15cm: -8,8°C, 30 cm: -8,6°C). Také, jako v roce 2008 nastal největší nárůst průměrných měsíčních teplot mezi dubnem (-4,2°C v 15 cm a -4,3°C ve 30 cm) a květnem (0,0°C u obou hloubek). V hloubce 15 cm se záporné teploty držely níže než v 30 cm, ale kladné teploty v hloubce 15 cm byly naopak vyšší. Období leden až duben bylo v roce 2008 v průměru chladnější (-11,7°C v 15 cm a -11,4°C ve 30 cm) než stejné období v roce 2010 (-7,1°C v 15 cm a -7,0°C v hloubce 30 cm). Rok 2008 má mnohem rychlejší nárůst kladných průměrných měsíčních teplot, než 2009 a 2010.

Graf 3: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-1, rok 2010



Graf 4: Porovnání prům. měsíčních teplot půdy v lokalitě ST-1 za roky 2008, 2009, 2010

a) 15 cm, b) 30 cm



Na grafu 4 lze vidět, že nejnižších průměrných měsíčních teplot za sledované období (2008 – 2010) bylo v lokalitě ST-1 dosaženo v roce 2008, konkrétně v měsících leden až duben. Výsledky by mohly změnit pouze teplotní data (leden – duben) za rok 2009, která ale v tomto případě nebyla k dispozici. V roce 2010 v měsících leden a únor dosáhly průměrné teploty téměř poloviční hodnoty oproti roku 2008. Pro porovnání průměrných teplot v měsíci dubnu byla k dispozici data pro roky 2008 a 2009. Z grafu 4 lze vyčíst, že zatím co v roce 2008 průměrné teploty přesáhly 0°C (15 cm: 2,9°C, 30 cm: 2,1°C) v roce 2009 se pořád drží pod 0°C (15 cm: -3,0°C, 30 cm: -3,1). V červnu byla nejvyšší průměrná teplota naměřená v roce 2008 (15 cm: 8,6°C, 30 cm: 8,1°C), v roce 2010 dosahovala přibližně poloviční hodnotu (15 cm: 3,8°C, 30 cm: 3,2°C) zatím co mezitím v roce 2009 se držela blízko 0°C (15 cm: 0,9°C, 30 cm: 0,6°C). Dále lze mezi sebou porovnat měsíce červenec – srpen v letech 2009 a 2010, kdy byla v obou případech průměrná měsíční teplota vyšší v roce 2010. Průměrné měsíční teploty v období mezi zářím a prosincem nelze porovnat v jednotlivých letech, protože existuje záznam pouze za rok 2009.

Tab. 6: Charakteristiky regulačních období v lokalitě ST-1

Regeleční období	hloubka (cm)	začátek	konec	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Jarní 2008	15	reg. sezóna nenastala, půda kompletně rozmrzla dne 8.5. ve 13:00										
	30	reg. sezóna nenastala, půda kompletně rozmrzla dne 8.5. ve 14:00										
Jarní 2009	15	reg. sezóna nenastala, půda kompletně rozmrzla dne 11.6.										
	30	reg. sezóna nenastala, půda kompletně rozmrzla dne 14.6. ve 20:00										
Podzimní 2009	15	11.9.	10.10.	30	2	1	1	0	-0,1	12.9.	6,4	6,3
	30	reg. sezóna nenastala, půda kompletně zmrzla dne 11.10. v 19:00										
Jarní 2010	15	28.4.	7.6.	41	4	7	0	0	-0,1*	7.6.	1,8	1,8
	30	30.4.	9.6.	41	22	41	0	0	0,0**	12.5.	0,1	0,1

A – délka trvání (počet dní), **B** – počet dní s přechodem 0°C, **C** – počet cyklů (0°C), **D** – počet cyklů (0 až -0,1°C), **E** – počet cyklů (0 až -0,2°C), **F** – T min, **G** – datum T min, **H** – absolutní amplituda teplotní změny, **I** – T max

* při zaokrouhlení na více desetinných míst je hodnota < -0,1

** při zaokrouhlení na více desetinných míst hodnota <0°C, ale >-0.1

Jarní regelační sezóna v roce 2008 i v roce 2009 neproběhla v obou hloubkách (15 a 30 cm). Jelikož teplota přešla hranici 0°C pouze jednou, nedošlo k žádnému regelačnímu cyklu na základě 0°C a ani sledovaných intervalů (Tab. 6). Podzimní regelační sezóna v roce 2009 v hloubce 15 cm probíhala 30 dní (11. 9. začala a 10. 10. skončila), během této doby nastaly pouze 2 dny s přechodem 0°C a proběhl jeden regelační cyklus na základě 0°C. Dne 11. 9. 2009 v hloubce 15 cm klesla teplota ve 23:00 pod 0°C a vytrvala pod touto hodnotou celkem 8h a vrátila se nad 0°C dne 12. 9. 2009 v 07:00. Zbytek dnů se držela nad 0°C až do dne 10. 10. 2009 (16:00), kdy opět klesla pod 0°C. Na základě intervalu 0 až -0,1°C proběhl jeden regelační cyklus a na základě intervalu 0 až -0,2°C žádný. V hloubce 30 cm regelační sezóna opět nenastala, protože se teplota dostala přes 0°C pouze jednou, a to dne 11. 10., tudíž nedošlo k žádným regelačním cyklům. Jarní regelační sezóna v roce 2010 se dost lišila od předchozích sezón. V roce 2010 hloubce 15 cm začala jarní regelační sezóna dne 28. 4. a skončila 7. 6., tudíž trvala 41 dní. Z toho počet dní s přechodem 0°C byl 4. Cyklů na základě 0°C bylo 7. Dne 28. 4. ve 20:00 vystoupala teplota nad 0°C, poté se teplota držela průměrně kolem 0,2°C až do 12. 5., kdy teplota klesla pod 0°C celkem 3x, poté do 24. 5., kdy na celý den klesla teplota pod 0°C a poté klesne pod 0°C až 7. 6. mezi 4:00 a 13:00. Na základě sledovaných teplotních intervalů neproběhl žádný regelační cyklus. V hloubce 30 cm trvala regelační sezóna také 41 dní. Začala 30.4. a skončila 9.6. tj. o dva dny později než v hloubce 15 cm. Počet dní s přechodem 0°C byl 22 a počet regelačních cyklů na základě 0°C bylo 41.

5.3. Lokalita dolní Adygine ST-2

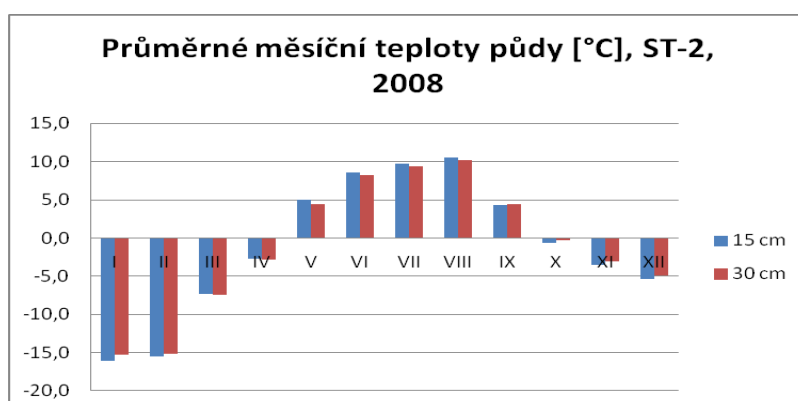
Tabulka 7 obsahuje průměrné měsíční teploty půd v letech 2008, 2009 a měsíců leden až srpen 2010 v hloubkách 15 cm a 30cm. Dále obsahuje průměrné roční teploty a maximální a minimální roční teploty pro jednotlivé hloubky.

Tab. 7: Průměrné měsíční teploty v lokalitě ST-2 pro roky 2008, 2009 a 2010

2008			2009			2010		
měsíc	15 cm	30cm	měsíc	15 cm	30cm	měsíc	15 cm	30cm
I	-16,1	-15,3	I	-8,3	-7,8	I	-9,9	-9,5
II	-15,5	-15,2	II	-8,5	-8,2	II	-9,8	-9,5
III	-7,4	-7,5	III	-7,1	-7,0	III	-6,1	-6,0
IV	-2,7	-2,9	IV	-3,1	-3,2	IV	-3,1	-3,2
V	5,0	4,4	V	-0,4	-0,5	V	2,5	2,0
VI	8,6	8,3	VI	4,7	4,1	VI	6,5	6,2
VII	9,7	9,4	VII	8,3	7,9	VII	8,8	8,5
VIII	10,5	10,2	VIII	7,9	7,7	VIII	9,5	9,2
IX	4,3	4,4	IX	1,9	2,0			
X	-0,7	-0,3	X	-0,5	-0,2			
XI	-3,5	-3,1	XI	-5,7	-5,3			
XII	-5,4	-5,0	XII	-9,7	-9,2			
Ø roční	-1,0	-1,0	Ø roční	-1,7	-1,6			
max	19,9	15,3	max	20,1	15,0			
min	-20,5	-19,0	min	-11,9	-10,9			

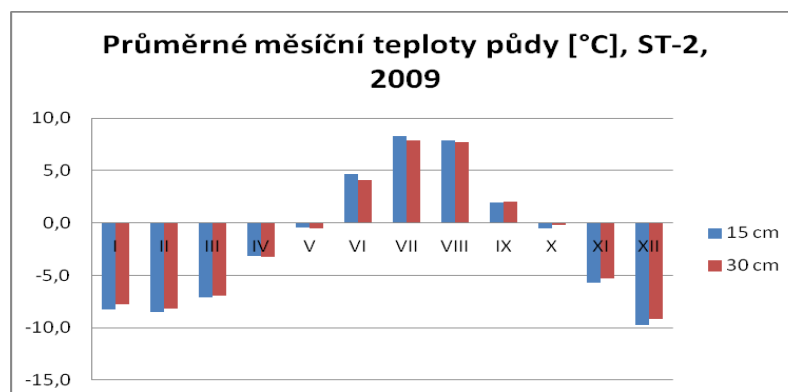
V roce 2008 byla v hloubce 15 cm naměřena průměrná teplota půdy -1°C . Pod bodem mrazu byly průměrné měsíční teploty mezi lednem až dubnem a říjnem až prosincem (čili 7měsíců, viz také Graf 5). Nejchladnější měsíc byl leden s průměrnou měsíční teplotou $-16,1^{\circ}\text{C}$. Nejprudší nárůst teplot, a to o $7,7^{\circ}\text{C}$ nastal mezi měsíci duben ($-2,7^{\circ}\text{C}$) a květen ($5,0^{\circ}\text{C}$). Nejteplejším měsícem byl srpen (viz také Graf 5, Tab. 7), kde průměrná teplota dosáhla $10,5^{\circ}\text{C}$. Prudký sestup průměrných teplot o $6,2^{\circ}\text{C}$ nastal mezi měsíci srpen ($10,5^{\circ}\text{C}$) a září ($4,3^{\circ}\text{C}$). A poté teploty postupně klesaly. Maximální teplota $19,0^{\circ}\text{C}$ byla naměřena dne 31. 7. v 13:00. Minimální teplota $-20,5^{\circ}\text{C}$ nastala 27.1. v 7:00. V hloubce 30 cm se teploty půdy chovaly obdobně. Průměrná roční teplota byla také $-1,0^{\circ}\text{C}$. Teplota půdy se držela pod bodem mrazu (uvažujeme-li 0°C) stejně jako v 15 cm po dobu 7 měsíců (leden-duben, říjen-prosinec). Nejchladnějším měsícem podle průměrné teploty se stal měsíc leden, kdy průměrná teplota klesla na $-15,3^{\circ}\text{C}$, což je o $0,8^{\circ}\text{C}$ více než teplota ve stejném měsíci v hloubce 15 cm. Celkově chladnější co do průměrných teplot bylo období leden-duben. Největší vzestup teplot nastal stejně jako v 15 cm mezi měsíci duben a květen, kdy průměrná teplota stoupla z $-2,9^{\circ}\text{C}$ (duben) o $7,3^{\circ}\text{C}$ na $4,4^{\circ}\text{C}$ (květen). Po rozmrznutí půdy vystoupala maximální průměrná měsíční teplota na hodnotu $10,2^{\circ}\text{C}$ a to v srpnu (viz Tab. 7 a Graf 5), což je o $0,3^{\circ}\text{C}$ méně než v hloubce 15 cm. Poté nastal v září prudký sestup teplot až o $5,8^{\circ}\text{C}$ na $4,4^{\circ}\text{C}$. Dále průměrné měsíční teploty postupně klesaly. Záporné teploty byly většinou vyšší než záporné teploty v hloubce 15 cm a kladné teploty naopak většinou nižší. Maximální teplota $15,3^{\circ}\text{C}$ byla naměřena 2. 8. v 15:00 což je o 2 dny později než v hloubce 15 cm a minimální teplota $-19,0^{\circ}\text{C}$ dne 27. 1. v 8:00 byla naměřena ve stejný den jako v hloubce 15 cm (27. 1.), ale o 1 h později.

Graf 5: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-2, rok 2008



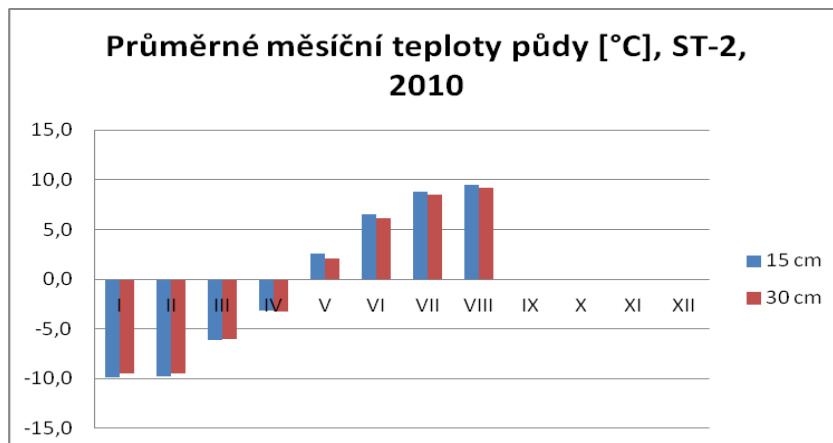
V roce 2009 v hloubce 15 cm byla průměrná roční teplota $-1,7^{\circ}\text{C}$. Oproti roku 2008 se průměrné měsíční teploty držely pod bodem mrazu o měsíc déle, tudíž mezi lednem až květnem (viz také Graf 6). Na podzim byly průměrné měsíční teploty pod bodem mrazu mezi měsíci říjen až prosinec (Graf 6). Průměrné teploty v měsících leden-květen ($-5,5^{\circ}\text{C}$) byly nižší, než v měsících říjen-prosinec ($-5,3^{\circ}\text{C}$). Maximální teplota nastala dne 25.7. v 13:00 a vystoupala na $20,1^{\circ}\text{C}$. Minimální teplota klesla na $-11,9^{\circ}\text{C}$ dne 14. 12. v 5:00. Průměrná roční teplota v hloubce 30 cm klesla na $-1,6^{\circ}\text{C}$, což je o $0,6^{\circ}\text{C}$ méně oproti roku 2008 a o $0,1^{\circ}\text{C}$ vyšší než průměrná roční teplota v hloubce 15 cm. Stejně jako v hloubce 15 cm, byla i tady průměrná měsíční teplota pod bodem mrazu v měsících leden-květen a říjen-prosinec. Na podzim už byl průběh stejný, tj. průměrné teploty se držely pod 0°C od října do prosince. Na rozdíl od roku 2008 byly v roce 2009 více mrazivé měsíce říjen-prosinec (průměrně $-4,9^{\circ}\text{C}$), než leden-květen (průměrně $-2,8^{\circ}\text{C}$). Nejteplejší měsíc byl také odlišný od roku 2008 (srpen, $10,2^{\circ}\text{C}$), byl to měsíc červenec s průměrnou teplotou $7,9^{\circ}\text{C}$ (viz také Tab. 7 a Graf 5). Stejně jako předchozí rok, nastal největší sestup teplot mezi měsíci srpen ($7,7^{\circ}\text{C}$) a září (2°C). Maximální teplota $15,0^{\circ}\text{C}$ byla naměřená ve stejný den jako v hloubce 15 cm (25. 7.), ale o 2h později (v 15:00) a minimální teplota $-10,9^{\circ}\text{C}$ byla naměřená také ve stejný den jako v hloubce 15 a to dne 14. 12. v 7:00, tudíž o 2h později.

Graf 6: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-2, rok 2009



V roce 2010 se v hloubce 15 cm, i v hloubce 30 cm držely průměrné měsíční teploty půdy pod 0°C mezi měsíci leden až duben (stejně jako v roce 2008, viz také Tab. 7 a Graf 7). V obou hloubkách byl nejchladnější měsíc leden (-9,9°C v 15 cm a -9,5°C v hloubce 30 cm).

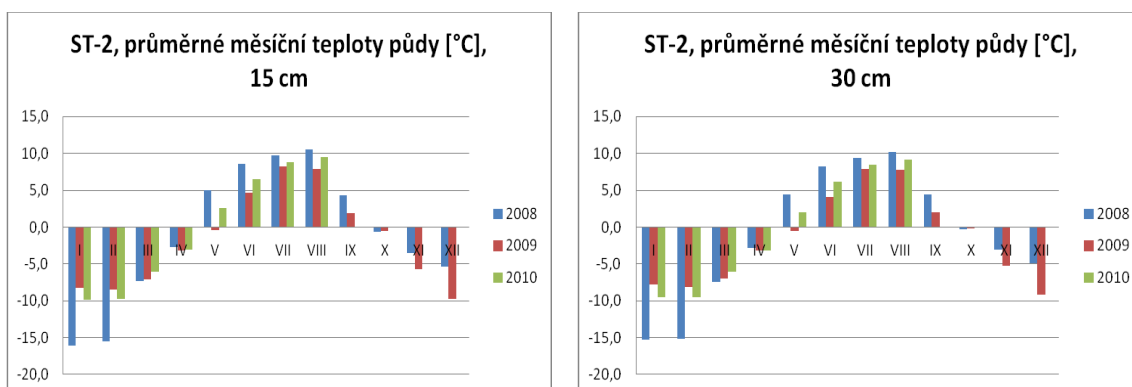
Graf 7: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-2, leden - srpen 2010



Za celé sledované období byl pravidelně nejchladnější měsíc leden. Naměřená minimální teplota za období 2008 - srpen 2010 v hloubce 15 cm byla -20,5°C dne 27. 1. 2008 v 7:00 a v hloubce 30 cm -19,0°C také 27. 1. 2008 ale o 1 h později (v 8:00). Maximální teplota v hloubce 15 cm byla 20,1°C dne 25. 7. 2009 ve 13:00 15,3°C dne 2. 8. 2008 v 15:00 a v hloubce 30 cm dne 2. 8. 2008 v 15:00 teplota 15,3°C.

Graf 8: Porovnání prům. měsíčních teplot půdy v lokalitě ST-2 za roky 2008, 2009, 2010

a) 15 cm, b) 30 cm



Z Grafu 8 lze vyčíst, že mezi lednem a dubnem se průměrná měsíční teplota držela pod 0°C ve všech třech letech. Průměrné měsíční teploty mezi lednem a březnem byly nejnižší v roce 2008, dále 2010 a nejvyšší v roce 2008. V dubnu dosáhl stejné průměrné teploty rok 2009 a 2010, měsíc duben byl v porovnání s těmito roky teplejší. V květnu 2008 a 2010 vystoupala průměrná měsíční teplota nad 0°C, zatím co v roce 2009 byla pořád pod. Mezi červnem a srpnem se teploty držely nad 0°C ve všech třech zkoumaných letech, přičemž bylo toto období

nejteplejší v roce 2008, dále 2010 a nejchladnější v roce 2009. Pro měsíce září až prosinec byly k dispozici teplotní data pouze pro roky 2008 a 2009. V září se průměrná měsíční teplota v obou letech držela nad 0°C s tím, že v roce 2008 byla vyšší. Od října do prosince již průměrné měsíční teploty klesly pod 0°C a v roce 2009 byly teploty nižší. Co do průměrné roční teploty byl chladnější rok 2009 (15 cm: -1,7°C, 30 cm: -1,6°C) než 2008 (15 cm: -1°C, 30 cm: -1°C). Za rok 2010 nejsou všechna data, tudíž jeho průměrnou roční teplotu určit a ani porovnat s dalšími lety nelze.

Tab. 8: Charakteristiky regulačních období v lokalitě ST-2

Regulační období	hloubka (cm)	začátek	konec	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Jarní 2008	15	29.4.	2.5.	4	3	3	0	0	0,0**	29.4.	0,0	0,1
	30	reg. sezóna nenastala, půda kompletně rozmrzla dne 30.4. v 01:00										
Podzimní 2008	15	10.10.	12.10.	3	2	1	0	0	0,0**	11.10.	0,0	0,0
	30	15.10.	17.10.	3	2	3	0	0	0,0**	15.10.	0,0	0,0
Jarní 2009	15	19.5.	29.5.	11	4	11	0	0	0,0**	21.5.	0,1	0,1
	30	reg. sezóna nenastala, půda kompletně rozmrzla dne 19.5. v 16:00										
Podzimní 2009	15	reg. sezóna nenastala, půda kompletně zmrzla dne 11.10. v 05:00										
	30	reg. sezóna nenastala, půda kompletně zmrzla dne 14.10. v 03:00										
Jarní 2010	15	29.4.	5.5.	7	3	4	0	0	0,0**	30.4.	1,2	1,2
	30	reg. sezóna nenastala, půda kompletně rozmrzla dne 28.4. v 09:00										

A – délka trvání (počet dní), **B** – počet dní s přechodem 0°C, **C** – počet cyklů (0°C), **D** – počet cyklů (0 až -0,1°C), **E** – počet cyklů (0 až -0,2°C), **F** – T min, **G** – datum T min, **H** – absolutní amplituda teplotní změny, **I** – T max

** při zaokrouhlení na více desetinných míst hodnota <0°C, ale >-0.1

V Tab. 8 lze vyčíst, že jarní regulační sezóna v roce 2008 na základě 0°C v hloubce 15 cm začala 29. 4. Tato sezóna trvala 4 dny a skončila 2. 5. Během této doby došlo ke 2 dnům s regulačním cyklem a 3 regulačním cyklům na základě 0°C. Nedošlo zde k žádnému regulačnímu cyklu na základě sledovaných intervalů. Podzimní regulační sezóna v hloubce 15 cm trvala 3 dny. Začala 10. 10. a skončila 12. 10. Došlo ke 2 dnům s regulačním cyklem, k 1 regulačnímu cyklu na základě 0°C a stejně jako u předchozí sezóny nedošlo k žádnému regulačnímu cyklu na základě obou sledovaných intervalů. V hloubce 30cm jarní regulační sezóna na základě 0°C vůbec nenastala. Teplota přešla hranici 0°C pouze jednou, dne 30.4., tudíž nedošlo k žádnému regulačnímu cyklu jak na základě 0°C, tak na základě intervalů 0 až -0,1°C a 0 až -0,2°C. Podzimní sezóna v hloubce 30 cm nastala a trvala 3 dny. Začala 15. 10. a skončila 17. 10. Během této doby proběhly 2 dny s přechodem 0°C a 3 regulační cykly na základě 0°C. K regulačním cyklům na základě sledovaných intervalů nedošlo stejně jako u jarní regulační sezóny.

Jarní regelační sezóna v roce 2009 v hloubce 15 cm probíhala celkem 11 dní (19. 5. – 29. 5.), došlo k 4 dnům s přechodem 0°C a k 11 regelačním cyklům na základě 0°C. Z těchto 11 regelačních cyklů nastalo 5 cyklů dne 21. 5. a dalších 5 cyklů dne 29. 5. Na základě zbylých intervalů k regelačním cyklům nedošlo. V hloubce 30 cm jarní regelační sezóna vůbec nenastala, protože ode dne 19. 5. teplota překročila 0°C pouze jednou, - na základě 0°C i na základě obou sledovaných teplotních intervalů se nevyskytl žádný regelační cyklus. Podzimní sezóna v obou hloubkách nenastala, jelikož také teplota překročila 0°C pouze jednou (dne 11. 10. v hloubce 15 cm a 14. 10. v hloubce 30 cm) a tudíž se na základě všech tří sledovaných kritérií nevyskytl žádný regelační cyklus.

V roce 2010 v hloubce 15 cm trvala regelační sezóna 8 dní (28. 4. až 5. 5.) a z toho byly 3 dny s přechodem 0°C. Počet cyklů na základě 0°C byl 4, z nichž 3 proběhly dne 30. 4., ale na základě sledovaných intervalů neproběhl žádný. V hloubce 30 cm regelační sezóna nenastala vůbec, jelikož počet přechodů 0°C byl pouze jeden. Na základě zbylých sledovaných teplotních intervalů neproběhl žádný regelační cyklus.

Při zhodnocení meziročních změn regelační aktivity lze říct, že jarní regelační sezóny ve všech zkoumaných letech v hloubce 30 cm nenastaly vůbec, jelikož se teplota přehoupla přes 0°C pouze jednou a nedošlo k žádnému regelačnímu cyklu jak na základě 0°C, tak na základě obou sledovaných intervalů. K podzimní regelační sezóně v roce 2009 nedošlo v obou hloubkách. V roce 2008 v hloubce 15 cm sezóna trvala 3 dny a došlo k 3 regelačním cyklům na základě 0°C. Jarní regelační sezóny v hloubce 15 cm začínají obvykle koncem dubna až začátkem května a podzimní v polovině října.

5.4. Lokalita dolní Adygine ST-3

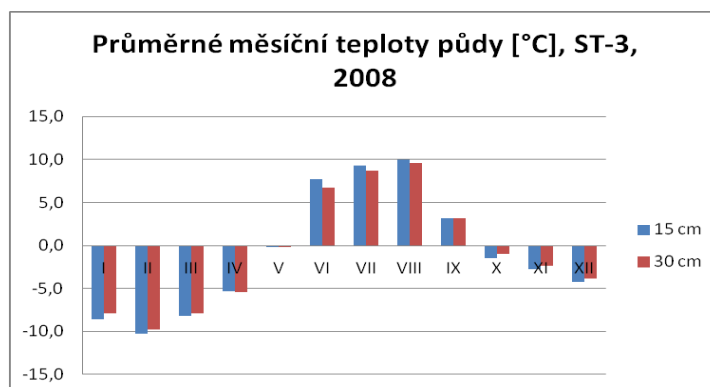
Tabulka 9 zaznamenává průměrné měsíční teploty v lokalitě ST- 3 za celé roky 2008, 2009 a za období leden až srpen 2010. Lze zde vyčíst také průměrné roční teploty vzduchu a minimální i maximální teplotu vzduchu za jednotlivé roky v hloubkách 15 cm a 30 cm.

Tab. 9: Průměrné měsíční teploty v lokalitě ST-3 pro roky 2008, 2009 a 2010

2008			2009			2010		
měsíc	15 cm	30cm	měsíc	15 cm	30cm	Měsíc	15 cm	30cm
I	-8,6	-7,9	I	-6,0	-5,6	I	-9,2	-8,8
II	-10,3	-9,8	II	-6,8	-6,4	II	-8,5	-8,2
III	-8,2	-7,9	III	-6,5	-6,2	III	-7,2	-7,0
IV	-5,4	-5,4	IV	-5,2	-5,0	IV	-5,9	-5,8
V	-0,2	-0,2	V	-3,3	-3,3	V	-1,5	-1,6
VI	7,7	6,8	VI	-0,1	0,1	VI	-0,1	0,1
VII	9,3	8,7	VII	4,4	3,7	VII	6,9	6,1
VIII	10,0	9,5	VIII	6,9	6,6	VIII	8,5	7,9
IX	3,2	3,2	IX	0,5	0,7			
X	-1,5	-1,0	X	-3,0	-2,2			
XI	-2,8	-2,4	XI	-6,2	-5,6			
XII	-4,3	-3,9	XII	-10,0	-9,3			
Ø roční	-0,9	-0,8	Ø roční	-2,9	-2,7			
max	21,6	16,2	max	19,5	14,1			
min	-11,1	-10,4	min	-11,5	-10,5			

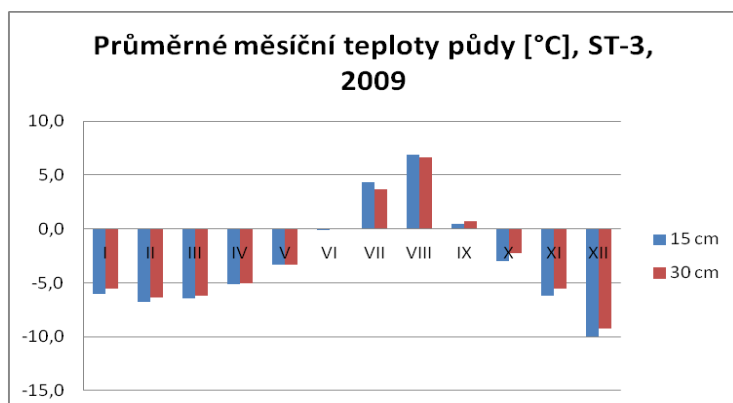
V roce 2008 byla roční průměrná teplota v hloubce 15 cm $-0,9^{\circ}\text{C}$ a v hloubce 30 cm $-0,8^{\circ}\text{C}$. V obou hloubkách byla průměrná měsíční teplota půdy pod bodem mrazu (0°C) během měsíců leden-květen a říjen-prosinec (viz také Graf 9). Průměrná teplota za měsíce leden-květen v hloubce 15 cm byla $-6,5^{\circ}\text{C}$ a ve 30 cm $-6,2^{\circ}\text{C}$. Průměrná teplota za říjen-prosinec byla v obou hloubkách vyšší a to $-2,9^{\circ}\text{C}$ v 15 cm a $-2,4^{\circ}\text{C}$ ve 30 cm. Minimální průměrná měsíční teplota připadla v obou hloubkách na únor (v 15 cm $-10,3^{\circ}\text{C}$ a ve 30 cm na $-9,8^{\circ}\text{C}$). Maximální průměrná měsíční teplota nastala v srpnu (v hloubce 15 cm $10,0^{\circ}\text{C}$ a v hloubce 30 cm o $0,5^{\circ}\text{C}$ méně, tudíž $9,5^{\circ}\text{C}$). Největší teplotní skok nastal mezi měsíci květen a červen, kdy v hloubce 15 cm ke změně průměrné měsíční teploty o $7,9^{\circ}\text{C}$ a v hloubce 30 cm o $7,0^{\circ}\text{C}$. Maximální teplota v hloubce 15 cm byla naměřena dne 31. 7. ve 13:00 a to $21,6^{\circ}\text{C}$. V hloubce 30 cm se maximální teplota opozdila o 2 dny, byla nižší než v 15 cm a nastala 2. 8. v 15:00 ($16,2^{\circ}\text{C}$). Minimální teplota nastala v obou hloubkách v ten samý den (14. 2.), ale v 15 cm v 11:00 ($-11,1^{\circ}\text{C}$) a ve 30 cm v 17:00 ($-10,4^{\circ}\text{C}$).

Graf 9: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-3, rok 2008



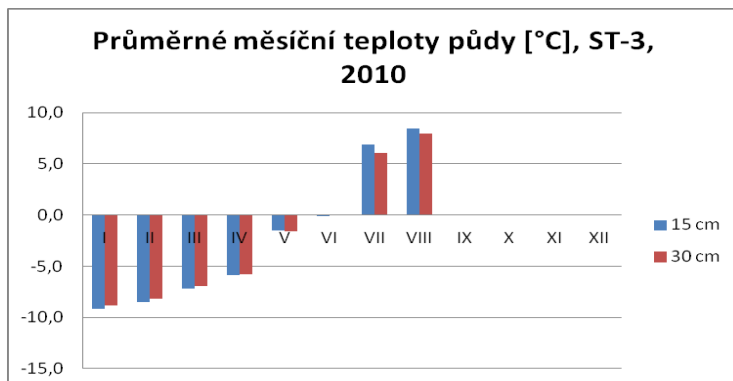
Rok 2009 byl svojí průměrnou roční teplotou v hloubce 15 cm (-2,9°C) o 2,0°C chladnější, než byl rok 2008 a v hloubce 30 cm (-2,7°C) o 0,9°C. Teploty pod bodem mrazu (0°C) se držely v hloubce 15 cm mezi lednem-červnem, tudíž půda roztála o měsíc později, než tomu bylo v roce 2008 (Graf 10). V hloubce 30 cm se pod bodem mrazu nacházely stejně jako v roce 2008 v měsících leden-květen. V obou hloubkách klesla průměrná měsíční teplota pod 0°C od října do prosince, stejně jako v roce 2008. Průměrně nejchladnější měsíc a průměrně nejteplejší měsíc se opět shodují s rokem 2008 tj. únor (v 15 cm -6,8°C a ve 30 cm -6,4°C) a srpen (v 15 cm 6,9°C a ve 30 cm 6,6°C). Nejvíce vzrostla teplota mezi měsíci červen a červenec. Průměrná měsíční teplota byla v hloubce 15 cm kladná pouze 3 měsíce v roce, ve 30 cm to byly 4 měsíce. Maximální naměřená teplota v hloubce 15 cm byla 19,5°C dne 25. 7. v 13:00 a o 2 hodiny později (v 15:00) v hloubce 30 cm teplota 14,1°C. Minimální teplota klesla v hloubce 15 cm na -11,5°C dne 14. 12. v 5:00 a v hloubce 30 cm (-10,5°C) o 17 dní později (31. 12. v 5:00).

Graf 10: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-3, rok 2009



V roce 2010 byly dostupné teploty pouze do srpna (včetně), ale stihly zaznamenat, že se v hloubce 15 cm průměrné měsíční teploty dostaly nad 0°C až v červenci a v hloubce 30 cm již v červnu (viz také Graf 11), stejně jako v roce 2009. Shodně jako v roce 2009 nastal největší vzestup průměrných teplot mezi měsíci červen a červenec a to v průměru o 7,0°C v hloubce 15 cm a o 6,0°C ve 30 cm.

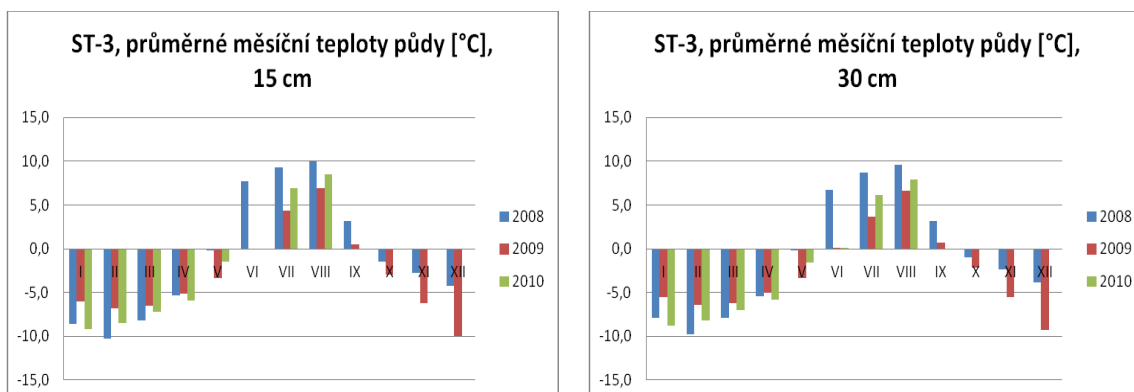
Graf 11: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-3, leden – srpen 2010



Nejnižší průměrná měsíční teplota za celé sledované období byla v únoru 2008 jak v hloubce 15 cm ($-10,3^{\circ}\text{C}$), tak v hloubce 30 cm ($-9,8^{\circ}\text{C}$). Nejvyšší průměrná měsíční teplota byla také naměřená v roce 2008, a to $10,0^{\circ}\text{C}$ v 15 cm a $9,5^{\circ}\text{C}$ ve 30 cm v srpnu. Nejnížší teplota za celé sledované období byla $-11,5^{\circ}\text{C}$ (14. 12. 2009 v 5:00) v hloubce 15 cm a $-10,5^{\circ}\text{C}$ (31. 12. 2009 v 5:00).

Graf 12: Porovnání prům. měsíčních teplot půdy v lokalitě ST-3 za roky 2008, 2009, 2010

a) 15 cm, b) 30 cm



Jak je patrné v grafu 12, na lokalitě ST-3 se průměrné měsíční teploty půdy držely pod 0°C od ledna do května (2008, 2009, 2010) a pak od října do prosince (2008, 2009). Průměrná teplota za měsíc leden byla během zkoumaného období nejnižší v roce 2010, za ním následoval rok 2008 a 2009. Únor byl již nejchladnější v roce 2008, dále 2010 a 2009, stejně tak i březen. Průměrná teplota v dubnu byla opět nejnižší v roce 2010, dále 2008 a 2009. Květen měl nejnižší průměrnou teplotu v roce 2009, poté 2010 a 2008. Průměrná teplota měsíce červen vykazovala největší rozdíl mezi jednotlivými roky, kdy v roce 2008 byla $7,7^{\circ}\text{C}$ (15 cm) respektive $6,8^{\circ}\text{C}$ (30 cm) a v letech 2009 a 2010 se držela těsně kolem 0°C . V měsících červenec a srpen byl nejteplejší rok 2008, za ním 2010 a 2009. Pro rok 2010 dále nejsou data, proto od září srovnávám pouze roky 2008 a 2009. Průměrné zářijové teploty se v obou letech ještě drží nad 0°C , teplejší je rok 2008. Od října teploty klesnou pod 0°C , kde ve všech třech měsících je chladnější rok 2009. Průměrná roční teplota byla v roce 2009 (15 cm: $-2,9^{\circ}\text{C}$, 30 cm: $-2,7^{\circ}\text{C}$) nižší, než v roce 2008 (15 cm: $-0,9^{\circ}\text{C}$, 30 cm: $-0,8^{\circ}\text{C}$).

Tab. 10: Charakteristiky regelačních období v lokalitě ST-3

Regeleční období	hloubka (cm)	začátek	konec	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Jarní 2008	15	reg. sezóna nenastala, půda kompletně rozmrzla dne 30.5. ve 13:00										
	30	reg. sezóna nenastala, půda kompletně rozmrzla dne 11.5. ve 20:00										
Podzimní 2008	15	21.9.	30.9.	10	8	7	4	3	-0,6	25.9.	3,9	3,3
	30	10.10.	13.10.	4	3	6	0	0	0,0*	10.10.	0,0	0,1
Jarní 2009	15	12.7.	14.7.	3	3	2	0	0	-0,1*	13.7.	3,5	3,4
	30	reg. sezóna nenastala, půda kompletně rozmrzla dne 30.5. ve 14:00										
Podzimní 2009	15	12.9.	4.10.	23	14	21	0	0	-0,1*	29.9.	4,9	4,9
	30	reg. sezóna nenastala, půda kompletně zmrzla dne 11.10. v 01:00										
Jarní 2010	15	reg. sezóna nenastala, půda kompletně rozmrzla dne 4.7. v 06:00										
	30	reg. sezóna nenastala, půda kompletně rozmrzla dne 31.5. ve 22:00										

A – délka trvání (počet dní), B – počet dní s přechodem 0°C, C – počet cyklů (0°C), D – počet cyklů (0 až -0,1°C), E – počet cyklů (0 až -0,2°C), F – T min, G – datum T min, H – absolutní amplituda teplotní změny, I – T max

* při zaokrouhlení na více desetinných míst je hodnota < -0,1

Jarní regelační sezóna v roce 2008 v hloubce 15 cm i v hloubce 30 cm nenastala vůbec. Z toho důvodu, že teplota překročila 0°C pouze jednou (v hloubce 15 cm dne 30. 5. a v hloubce 30 cm dne 11. 5.), tudíž nedošlo k žádnému regelačnímu cyklu z hlediska 0°C, ani na základě sledovaných intervalů (viz také Tab. 10). Podzimní regelační sezóna v roce 2008 v hloubce 15 cm nastala. Začala dne 21. 9., trvala 10 dní a skončila 30.9, z toho se vyskytlo 8 dní s přechodem 0°C a 7 regelačních cyklů na základě 0°C. Na základě intervalu 0 až -0,1°C se vyskytly 4 cykly a na základě intervalu 0 až -0,2 cykly 3. Podzimní regelační sezóna v hloubce 30 cm trvala 4 dny. Začala 10. 10. a skončila 13.10. Z těchto 4 dnů byly 3 dny s regelačním cyklem a cyklů na základě 0°C bylo celkem 6. Na základě sledovaných teplotních intervalů neproběhl žádný regelační cyklus, stejně jako v předchozích regelačních sezónách. Jarní regelační sezóna v roce 2009 v hloubce 15 cm začala dne 12. 7., trvala 3 dny a skončila dne 14. 7. Všechny 3 dny byly s regelačním cyklem a celkem na základě 0°C proběhly 2 regelační cykly. Ani během této sezóny se nevyskytl žádný regelační cyklus na základě sledovaných intervalů. V hloubce 30 cm nenastala jarní regelační sezóna vůbec, stejně jako v roce 2008, protože teplota přešla přes 0°C pouze jednou (dne 11. 5.) a nevyskytl se žádný regelační cyklus na základě 0°C ani na základě sledovaných intervalů. Podzimní regelační sezóna v hloubce 15 cm začala dne 12. 9., probíhala 23 dní a skončila 4. 10. Z těch 23 dnů bylo 14 dní s přechodem přes 0 °C a a 21 regelačních cyklů na základě 0°C. Opět se nevyskytl žádný regelační cyklus na základě sledovaných intervalů. V hloubce 30 cm nenastala regelační sezóna vůbec, protože dne 11. 10. překročila teplota hranici 0°C pouze jednou a neproběhl žádný regelační cyklus jak na základě 0°C, tak na základě sledovaných intervalů. Jarní regelační sezóna v roce 2009 nenastala.

5.5. Lokalita dolní Adygine ST-4

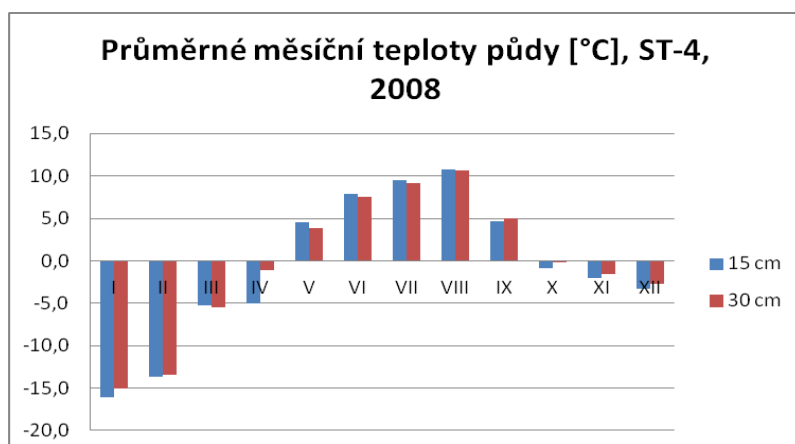
V Tab. 11 jsou zaznamenány průměrné měsíční teploty půdy jak v hloubce 15 cm, tak v hloubce 30 cm za roky 2008, 2009 a leden až srpen 2010. Dále tato tabulka obsahuje průměrné roční teploty za jednotlivé roky v obou hloubkách, tak maximální a minimální teploty naměřené v jednotlivých letech a hloubkách.

Tab. 11: Průměrné měsíční teploty v lokalitě ST-4 pro roky 2008, 2009 a 2010

2008			2009			2010		
měsíc	15 cm	30cm	měsíc	15 cm	30cm	Měsíc	15 cm	30cm
I	-16,0	-15,0	I	-6,1	-5,5	I	-8,7	-8,2
II	-13,6	-13,4	II	-6,7	-6,3	II	-8,3	-7,9
III	-5,3	-5,5	III	-5,5	-5,4	III	-4,8	-4,8
IV	-5,1	-1,1	IV	-0,8	-0,9	IV	-1,5	-1,7
V	4,6	3,8	V	0,7	0,3	V	2,6	2,0
VI	7,9	7,5	VI	5,9	5,3	VI	5,8	5,4
VII	9,5	9,1	VII	8,0	7,6	VII	8,5	8,3
VIII	10,8	10,6	VIII	7,6	7,6	VIII	9,4	9,2
IX	4,6	5,0	IX	2,3	2,6			
X	-0,8	-0,2	X	-0,8	0,0			
XI	-2,0	-1,5	XI	-3,5	-2,7			
XII	-3,3	-2,8	XII	-8,7	-7,7			
Ø roční	-0,3	-0,2	Ø roční	-0,6	-0,4			
max	21,3	16,4	max	22,0	16,6			
min	-21,6	-19,3	min	-12,2	-10,1			

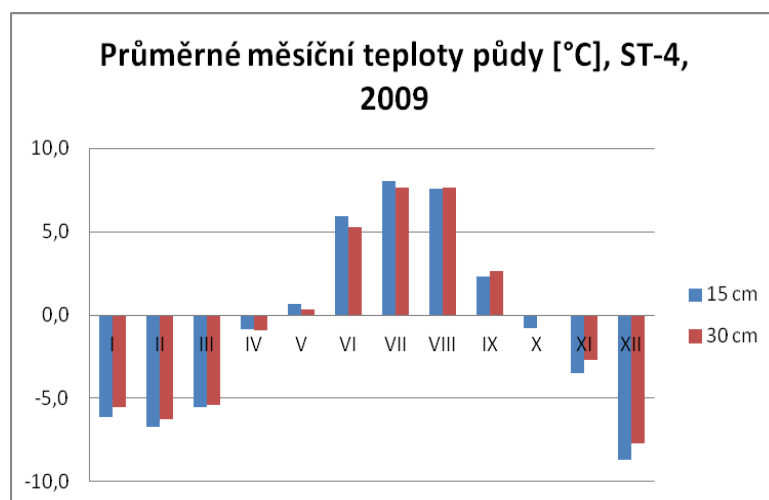
V roce 2008 v hloubce 15 cm byla průměrná roční teplota $-0,3^{\circ}\text{C}$. Jak lze vidět na grafu č. 13, průměrná teplota se držela pod bodem mrazu od ledna do dubna a od října do prosince, tudíž se průměrná teplota držela pod bodem mrazu celkem 7 měsíců. Průměrně nejchladnějším měsícem byl leden, kdy průměrná teplota klesla na $-16,0^{\circ}\text{C}$. Největší vzestup teplot nastal mezi měsíci duben ($-5,1^{\circ}\text{C}$) a květen ($4,6^{\circ}\text{C}$) a to o $9,7^{\circ}\text{C}$. Nejteplejším měsícem byl srpen (viz také Graf 13) s průměrnou teplotou $10,8^{\circ}\text{C}$. Poté teplota v září prudce klesla na $4,6^{\circ}\text{C}$, což je o $6,2^{\circ}\text{C}$ oproti srpnu. Maximální teplota byla naměřená $21,3^{\circ}\text{C}$ dne 2. 8. 2008 v 11:00 a minimální teplota $-21,6^{\circ}\text{C}$ 27. 1. 2008 v 6:00. V tom samém roce byla v hloubce 30 cm průměrná roční teplota $-0,2^{\circ}\text{C}$. Stejně jako v hloubce 15 cm i tady se teplota držela pod bodem mrazu od ledna do dubna a od října do prosince. Záporné teploty byly ale ovšem o trochu vyšší než v 15 cm a kladné teploty byly naopak nižší než v 15 cm. Největší nárůst teplot proběhl také mezi dubnem a květnem. Maximální teplota byla naměřená se 7 denním zpožděním oproti maximální teplotě v hloubce 15 cm a to dne 9. 8. 2008 ($16,4^{\circ}\text{C}$). Minimální teplota klesla na $-19,3^{\circ}\text{C}$ ve stejný den jako v 15 cm a to 27. 1. 2008 o 2h později (8:00). Každý měsíc činil rozdíl teplot mezi 15 cm a 30 cm přibližně $0,4^{\circ}\text{C}$, pouze v dubnu se lišila teplota o $4,4^{\circ}\text{C}$. Nejteplejším měsícem byl také srpen ($10,6^{\circ}\text{C}$), což je o $0,2^{\circ}\text{C}$ méně, než v hloubce 15 cm. Stejně jako v hloubce 15 cm, i ve 30 cm sestoupila teplota mezi srpnem a září prudce (o $5,6^{\circ}\text{C}$).

Graf 13: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-4, rok 2008



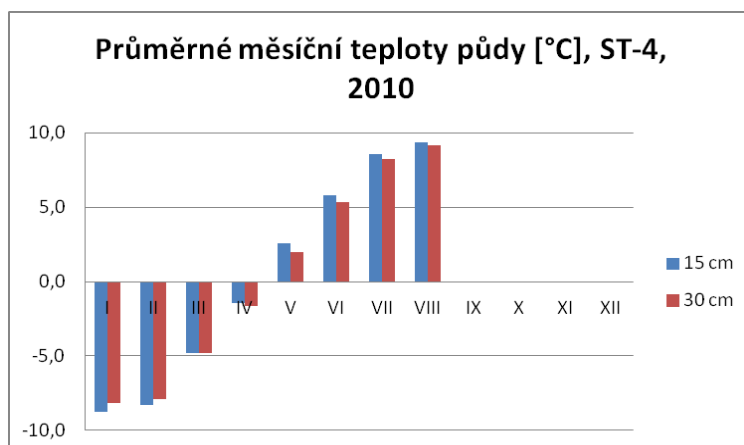
Rok 2009 byl obdobný, průběh průměrných měsíčních teplot je znázorněn v grafu 14. Jak v hloubce 15 cm tak v hloubce 30 cm byla průměrná teplota pod bodem mrazu v měsících leden až duben, akorát na podzim klesla průměrná teplota ve 30 cm pod bod mrazu o měsíc později, čili v listopadu. V hloubce 15 cm klesla již v říjnu, jako v roce 2008. Roční průměrná teplota v hloubce 15 cm byla $-0,6^{\circ}\text{C}$ a v hloubce 30 cm $-0,4^{\circ}\text{C}$, tudíž oproti roku 2008 nižší. Zato maximální a minimální teploty byly v obou hloubkách oproti roku 2008 vyšší (viz Tab. 11, Graf 10 a Graf 14). Maximální teplota v hloubce 15 cm byla $22,0^{\circ}\text{C}$ a v hloubce 30 cm $16,6^{\circ}\text{C}$, obě maxima nastala ve stejný den a to 25. 7. 2009 v 13:00 v hloubce 15 cm a o dvě hodiny později v 15:00 v hloubce 30 cm.

Graf 14: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-4, rok 2009



Rok 2010 byl téměř shodný s 2008 a 2009 v tom, že průměrné měsíční teploty vystoupily nad bod mrazu v květnu (viz také Graf 15).

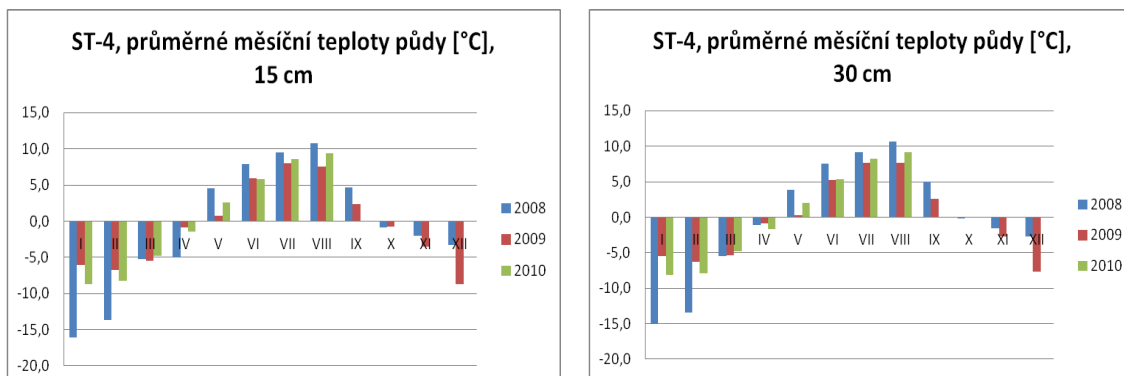
Graf 15: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-4, rok 2010



Teplotní maximum za celé zkoumané období vystoupilo v hloubce 15 cm na 22,0°C dne 25. 7. 2009 v 13:00 a v hloubce 30 cm na 16,6°C o dvě hodiny později. Teplotní minimum za celé zkoumané období kleslo v hloubce 15 cm na -21,6°C dne 27. 1. 2008 v 6:00 a na -19,3°C o dvě hodiny později.

Graf 16: Porovnání prům. měsíčních teplot půdy v lokalitě ST-4 za roky 2008, 2009, 2010

a) 15 cm, b) 30 cm



V lokalitě ST-4 ve všech třech letech (2008-2010) se průměrné měsíční teploty půdy drželi pod 0°C mezi měsíci leden-duben (viz graf 16). Leden a únor byly nejchladnější v roce 2008, dále 2010 a 2008. Březen byl nejchladnější v hloubce 15 cm roce 2009, dále 2008 a 2010. V hloubce 30 cm byl nejchladnější rok 2008, dále 2009 a 2010. Dubnová průměrná teplota v hloubce 15 cm byla nejnižší v roce 2008, dále 2010 a 2009, kdy tato průměrná teplota v 2009 a 2010 mnohonásobně stoupla. Průměrná teplota mezi květnem až srpнем, respektive září (data pouze pro 2008 a 2009) se drží nad 0°C. Nejteplejší je za všechny tyto měsíce rok 2008, za ním kromě května rok 2010 a 2008. Září bylo teplejší v roce 2008. Od října se průměrné teploty drží pod 0°C, kdy v říjnu je chladnější rok 2008 a v listopadu a prosinci rok 2009. Roční průměrná teplota byla nižší v roce 2009 (15 cm: -0,6°C, 30 cm: -0,4°C), než 2008 (15 cm: -0,3°C, 30 cm: -0,2°C).

Tab. 12: Charakteristiky regelačních období v lokalitě ST-4

Regeleční období	hloubka (cm)	začátek	konec	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Jarní 2008	15	25.4.	5.5.	11	8	8	0	0	-0,1	27.4.	8	7,9
	30	4.4.	28.4.	25	3	2	1	1	-4,3	20.4.	4,4	0,0
Podzimní 2008	15	8.10.	9.10.	2	3	2	0	0	0,0**	8.10.	0,0	0,0
	30	reg. sezóna nenastala, půda kompletně zmrzla dne 13.10. v 01:00										
Jarní 2009	15	23.5.	27.5.	5	5	4	0	0	-0,1*	23.5.	6,8	6,7
	30	22.5.	27.5.	6	3	5	0	0	-0,1*	23.5.	0,4	0,4
Podzimní 2009	15	reg. sezóna nenastala, půda kompletně zmrzla dne 10.10. ve 23:00										
	30	reg. sezóna nenastala, půda kompletně zmrzla dne 12.10. ve 03:00										
Jarní 2010	15	27.4.	24.5.	28	12	10	3	0	-0,1	28.4.	10,6	10,5
	30	30.4.	4.5.	5	5	3	0	0	-0,1*	1.5.	2,6	2,6

A – délka trvání (počet dní), **B** – počet dní s přechodem 0°C, **C** – počet cyklů (0°C), **D** – počet cyklů (0 až -0,1°C), **E** – počet cyklů (0 až -0,2°C), **F** – T min, **G** – datum T min, **H** – absolutní amplituda teplotní změny, **I** – T max

* při zaokrouhlení na více desetinných míst je hodnota < -0,1

** při zaokrouhlení na více desetinných míst hodnota <0°C, ale >-0.1

Z Tab. 12 lze vyčíst, že jarní regelační sezóna na základě 0°C v roce 2008 v hloubce 15 cm začala 25. 4. 2008, a skončila 5. 5. 2008. Trvala 11 dní a z toho počet dní s přechodem 0°C byl 8 a počet regelačních cyklů (na základě 0°C) byl také 8. Neproběhl žádný regelační cyklus na základě ani jednoho ze sledovaných intervalů. Podzimní regelační sezóna v hloubce 15 cm začala 8. 10. 2008 a skončila 9. 10. Trvala pouze dva dny, teplota překročila 0°C třikrát a nastaly 2 regelační cykly s přechodem 0°C. Na podzim v hloubce 30 cm neproběhl žádný regelační cyklus na základě 0°C ani sledovaných intervalů, tudíž se nedá mluvit ani o regelační sezóně. V hloubce 30 cm probíhala jarní regelační sezóna celkem 25 dní (začala 4. 4. a skončila 28. 4.), z toho nastaly 3 dny s přechodem 0°C a nastaly 2 dny s regelačním cyklem 0°C. Došlo také k jednomu regelačnímu cyklu na základě intervalu 0 až -0,1°C a jednomu na základě intervalu 0 až -0,2°C.

Jarní regelační sezóna v roce 2009 v hloubce 15 cm začala 23. 5. a skončila 27. 5., tudíž trvala 5 dní. Počet dní s přechodem 0°C byl 5 a počet regelačních cyklů na základě 0°C byl 4. Na základě sledovaných intervalů nedošlo k žádnému regelačnímu cyklu. Ve 30 cm trvala jarní regelační sezóna 6 dní (začala 22. 5. a skončila 27. 5.). Počet dní s přechodem 0°C byl 3 dny a regelačních cyklů na základě 0°C bylo 5. Stejně jako u předchozích sezón, ani tady nedošlo k žádnému regelačnímu cyklu na základě sledovaných intervalů. Na podzim v hloubce jak 15 cm tak v hloubce 30 cm přešla teplota 0°C pouze jednou (dne 10. 10. v 15 cm a 12. 10.

V 30 cm), tudíž nedošlo k žádným regelačním cyklům jak na základě 0°C, tak na základě vymezených intervalů a nedá se mluvit ani o regelační sezóně.

Jarní regelační sezóna v roce 2010 v hloubce 15 cm trvala 28 dní (začala 27. 4. a skončila 24. 5.), během této doby bylo 12 dní s přechodem teploty přes 0°C. Na základě 0°C došlo k 10 regelačním cyklům a na základě intervalu 0 až -0,1°C k 3 regelačním cyklům. Na základě intervalu 0 až -0,2°C nedošlo k žádnému regelačnímu cyklu. V hloubce 30 cm trvala jarní regelační sezóna 5 dní (začala 30. 4. a skončila 4. 5.). Teplota přešla 0°C celkem pětkrát a na základě 0°C došlo ke třem regelačním cyklům. Na základě vyměřených intervalů nedošlo k žádnému regelačnímu cyklu.

Při zhodnocení meziročních změn regelační aktivity lze zkonstatovat, že nejdelší jarní regelační sezóna trvala 28 dní a to v roce 2010 v hloubce 15 cm a začala přibližně ve stejný den (27. 4.) jako jarní regelační sezóna ve stejné hloubce v roce 2008 (25. 4.). Jarní regelační sezóna 2009 začala přibližně o měsíc později (23. 5.). Podzimní regelační sezóny neproběhly. Teplota překročila 0°C pouze jednou.

5.6. Lokalita dolní Adygine ST-5

V tabulce č. 13 jsou zaznamenány průměrné měsíční teploty půdy v letech 2009 a 2010. Záznamy jsou pořízené v hloubce 15 cm a v hloubce 30 cm.

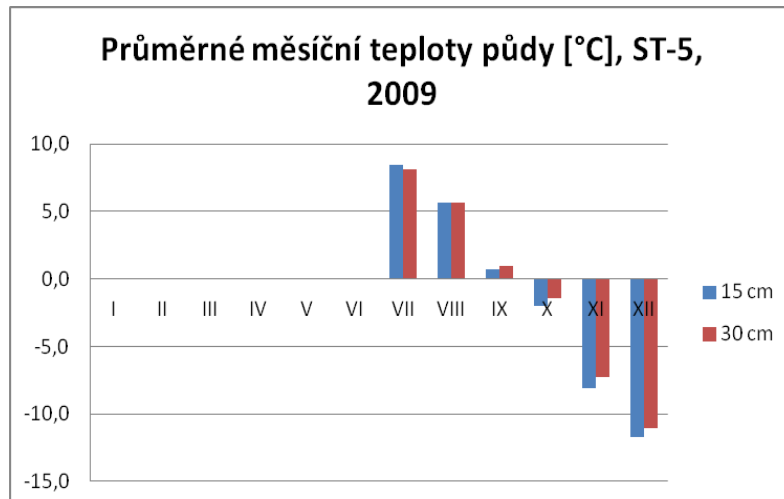
Tab. 13: Průměrné měsíční teploty v lokalitě ST-5 pro roky 2009 a 2010

2009			2010		
měsíc	15 cm	30cm	měsíc	15 cm	30cm
			I	-11,9	-11,3
			II	-12,0	-11,5
			III	-6,9	-6,8
			IV	-2,7	-3,0
			V	1,4	1,1
			VI	4,7	4,3
VII	8,4	8,1	VII	7,1	6,8
VIII	5,7	5,6	VIII	7,4	7,2
IX	0,7	1,0			
X	-2,0	-1,4			
XI	-8,1	-7,3			
XII	-11,7	-11,1			

V roce 2009 byl zaznamenán vývoj teplot pouze za období červenec až prosinec (viz také Graf 17) a v roce 2010 za období leden až srpen (Graf 18). V roce 2009 byla ze zkoumaných dat nejvyšší průměrná měsíční teplota v měsíci červenec v obou hloubkách a nejnižší v prosinci.

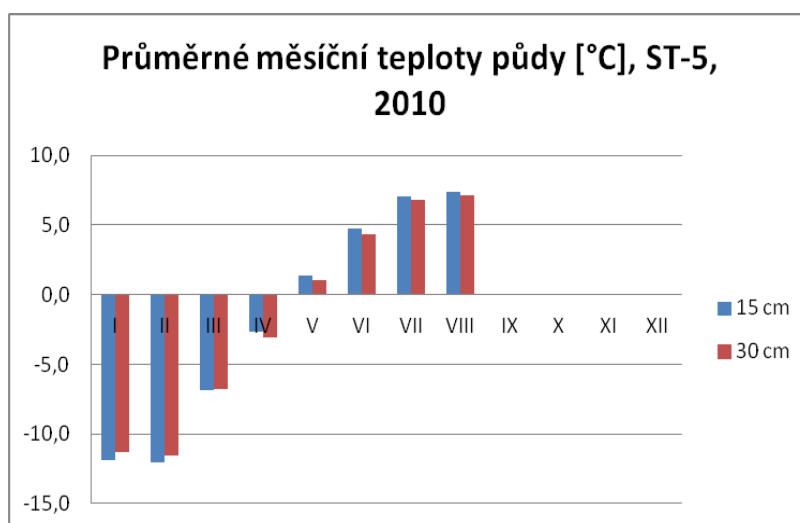
Teploty v hloubce 30 cm klesají pomaleji a v záporných teplotách jsou vyšší než teploty v hloubce 15 cm. Nejrychleji klesla průměrná teplota mezi měsíci srpen a září a to o 5,0°C v hloubce 15 cm a o 4,6°C v hloubce 30 cm.

Graf 17: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-5, červenec - prosinec 2009



V roce 2010 se průměrné měsíční teploty držely pod bodem mrazu mezi měsíci leden až duben. Nejchladnější byl měsíc únor (viz Tab. 13, Graf 18), kdy průměrná měsíční teplota klesla v hloubce 15 cm na -12,0°C a v hloubce 30 cm na -11,5°C. Největší sestup průměrných teplot nastal mezi měsíci duben a květen, kdy v hloubce 15 cm stoupla průměrná teplota o 4,1°C a v hloubce 30 cm také o 4,1°C. Nejvyšší průměrné teploty byly zaznamenány v měsíci srpen, kdy průměrná měsíční teplota v hloubce 15 cm byla 7,4°C a v hloubce 30 cm 7,2°C.

Graf 18: Průměrné měsíční teploty půdy v lokalitě ST-5, leden - srpen 2010



Tab. 14: Charakteristiky regelačních období v lokalitě ST-5

Regeleční období	hloubka (cm)	začátek	konec	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Podzimní 2009	15	7.9.	6.10.	30	17	16	11	9	-1,7	11.9.	7,3	5,6
	30	10.9.	9.10.	31	8	11	1	0	-0,2	11.9.	3,8	3,7
Jarní 2010	15	21.4.	29.5.	39	28	25	24	22	-3,3	21.4.	13,3	10,1
	30	25.4.	24.5.	30	19	16	12	0	-0,2***	25.4.	6,1	5,9

A – délka trvání (počet dní), **B** – počet dní s přechodem 0°C, **C** – počet cyklů (0°C), **D** – počet cyklů (0 až -0,1°C), **E** – počet cyklů (0 až -0,2°C), **F** – T min, **G** – datum T min, **H** – absolutní amplituda teplotní změny, **I** – T max

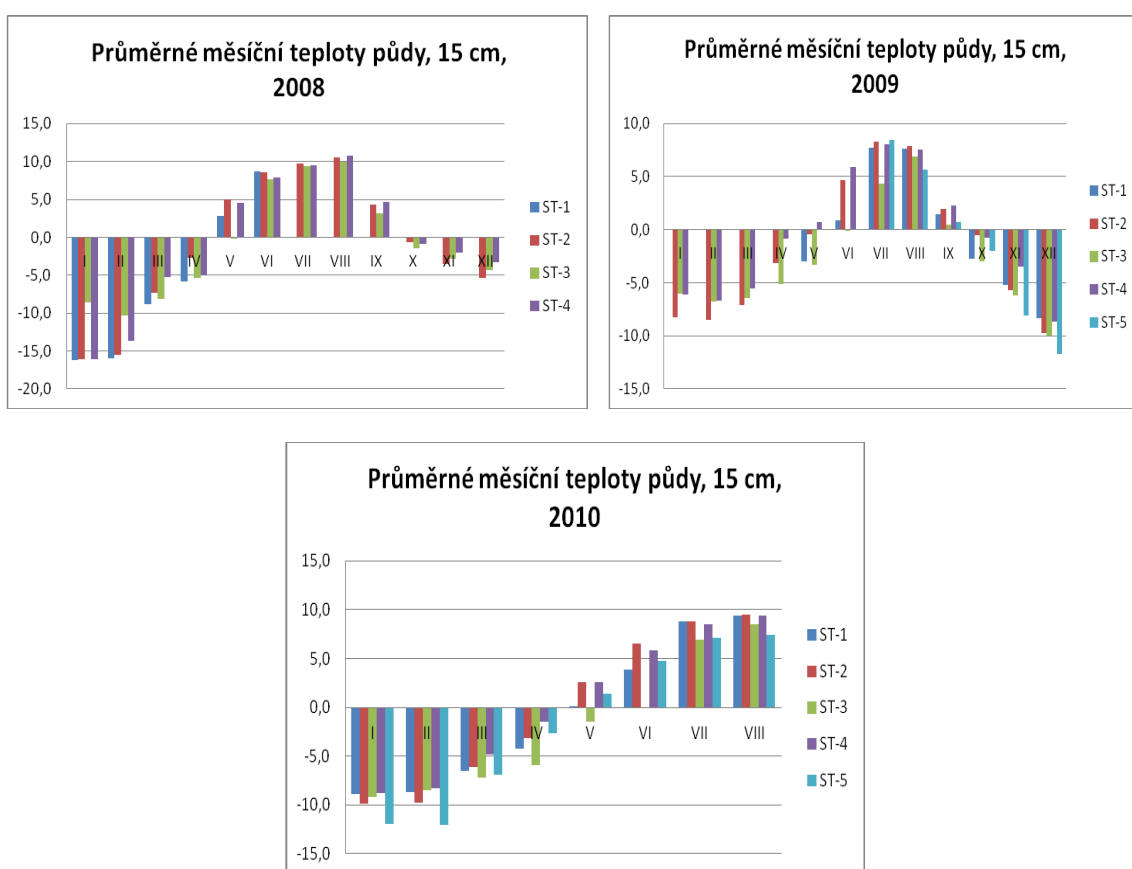
*** při zaokrouhlení na více desetinných míst je hodnota < -0,2

Jak lze vidět v Tab. 14, tak podzimní regelace v roce 2009 v hloubce 15 cm začala dne 7. 9., probíhala 30 dní a skončila 6. 10. Během těchto 30 dní nastalo 17 dní s přechodem 0°C a proběhlo celkem 16 regelačních cyklů na základě 0°C. Na základě intervalu 0 až -0,1°C proběhlo celkem 11 regelačních cyklů a na základě intervalu 0 až -0,2°C bylo regelačních cyklů 9. V hloubce 30 cm začala regelační sezóna o 3 dny později, tj. 10.9. Tato sezóna trvala 31 dní a z nich bylo 8 dní s přechodem 0°C a 11 regelačních cyklů na základě 0°C. Počet cyklů na základě intervalu 0 až -0,1°C byl oproti hloubce 15 cm nižší, proběhl pouze jeden cyklus a na základě intervalu 0 až -0,2°C neproběhl cyklů žádný. Jarní regelační sezóna v roce 2010 v hloubce 15 cm začala přibližně 7 měsíců po skončení podzimní regelační sezóny v roce 2009. Začala 21. 4., probíhala 39 dní a skončila 29. 5. Během této doby došlo k 28 dnům s přechodem 0°C a k 25 regelačním cyklům na základě 0°C. Na základě intervalu 0 až -0,1°C došlo k 24 regelačním cyklům a na základě intervalu 0 až -0,2°C k 22 regelačním cyklům. Regelační sezóna v hloubce 30 cm začala 4 dny po začátku regelační sezóny v hloubce 15 cm. Začala dne 25. 4. trvala 30 dní a skončila 24. 5. V té době nastalo 19 dní s přechodem 0°C a počet regelačních cyklů na základě 0°C byl 16. Na základě intervalu 0 až -0,1°C došlo ke 12 regelačním cyklům a na základě intervalu 0 až -0,2°C nedošlo k žádnému regelačnímu cyklu.

5.7. Srovnání teplotního režimu lokalit ST-1 až ST-5

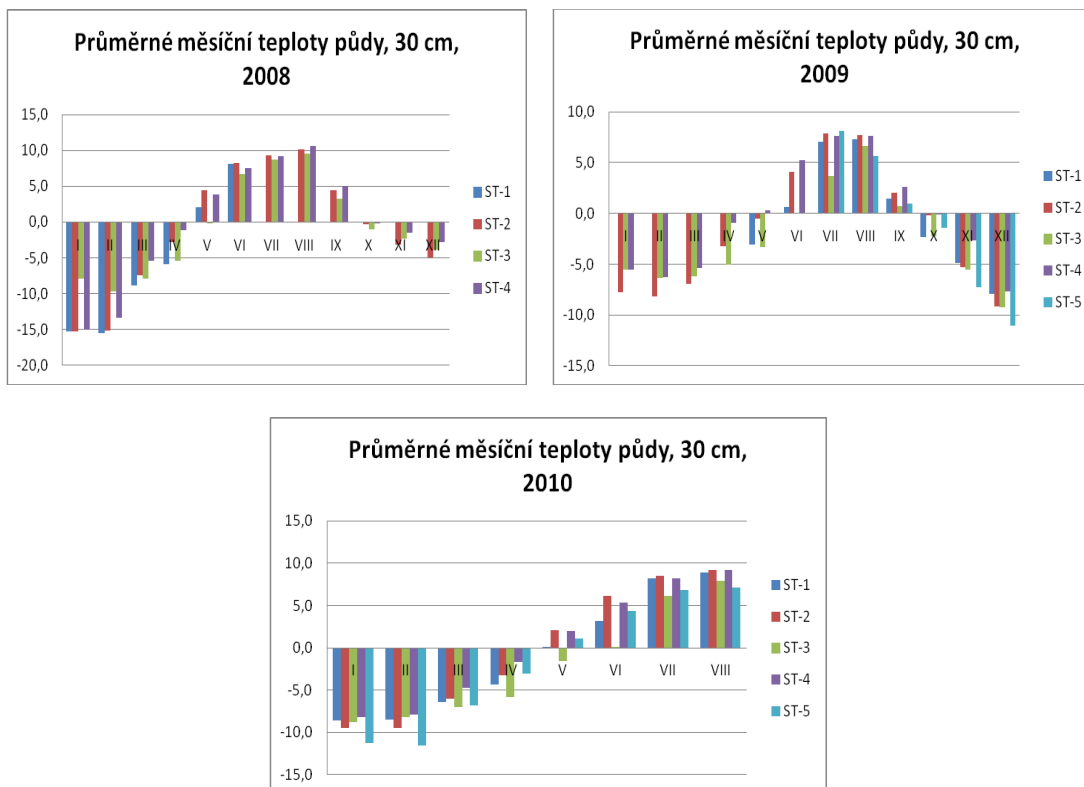
Na základě grafu 19 lze mezi sebou porovnat všechny lokality z hlediska průměrných měsíčních teplot půdy v letech 2008 a 2009 a částečně v roce 2010, kdy byla dostupná data pouze do konce srpna. Při porovnání těchto výsledků lze říci, že rok 2009 byl pro všechny lokality chladnější ale v podstatě až na záporné teploty v květnu 2009 vykazují teploty stejný režim ve všech třech letech. Záporné teploty byly mezi lednem a dubnem/květnem a říjnem a prosincem a kladné mezi květnem/červnem až zářím.

Graf 19: Porovnání průměrných měsíčních teplot půd v letech 2008, 2009 a 2010 v lokalitách ST-1 až ST-5, hloubka 15 cm



Stejně jak u grafu 19, i u grafu 20 lze porovnat mezi sebou roky 2008 a 2009, částečně 2010 ve všech lokalitách na základě průměrných měsíčních teplot půdy. Opět, stejně jako v 15 cm i zde ve 30 cm je nejchladnější rok 2009 pro všechny lokality a na rozdíl od 2008 a 2010 se zde drží teploty pod 0°C i v měsíci květen. Jinak jsou záporné teploty mezi lednem až dubnem (2008 a 2010) a říjnem až prosincem (2008 a 2009). Nad 0°C se teploty dostávají v roce 2008 a 2010 v květnu (až na ST-3, kde v červnu 2008 i 2010).

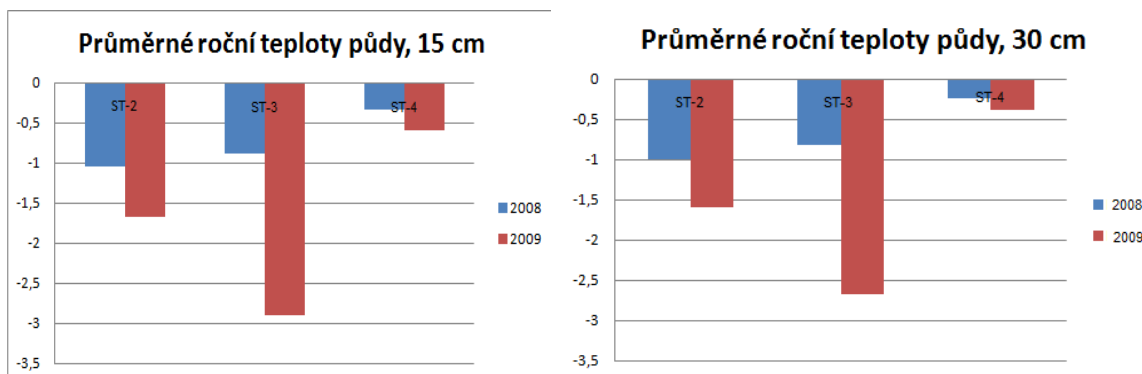
Graf 20: Porovnání průměrných měsíčních teplot půd v letech 2008, 2009 a 2010 v lokalitách ST-1 až ST-5, hloubka 30 cm



Podle grafu 21 lze mezi sebou porovnat průměrné roční teploty půdy ve třech lokalitách a to v ST-2, ST-3 a ST-4 za roky 2008 a 2009. V lokalitách ST-1 a ST-5 neprobíhalo soustavné měření, proto nemohou být porovnány. Na grafu 21 lze vidět, že v obou hloubkách (15 a 30 cm) a ve všech třech lokalitách byl chladnější rok 2009. Jako nejchladnější vychází lokalita ST-3 a to v obou hloubkách, dále lokalita ST-2 a jako nejteplejší vychází lokalita ST-4.

Graf 21: Průměrné roční teploty půdy v letech 2008 a 2009

a) 15 cm, b) 30 cm



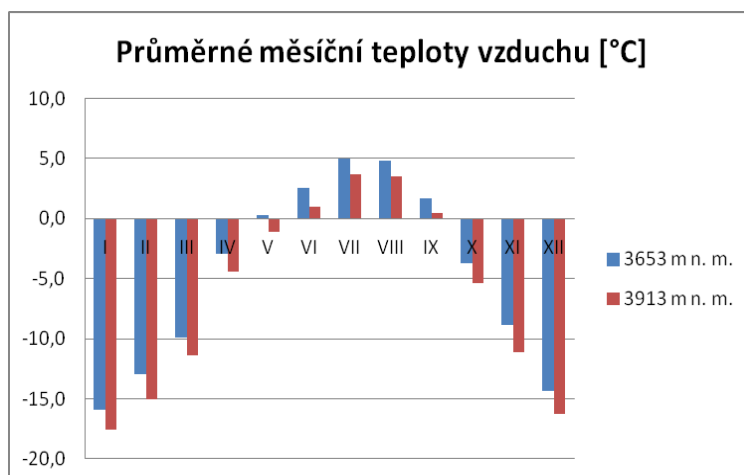
5.8. Obecné teplotní charakteristiky vzduchu

Na základě výsledků z tab. 15 a grafu 22, která obsahuje průměrné měsíční teploty vzduchu ve dvou nadmořských výškách (3653 m n. m. a 3913 m n. m.) lze určit jako chladnější lokalitu ve vyšší nadmořské výšce. Nejchladnější byl v obou nadmořských výškách měsíc leden, průměrné měsíční teploty se dostaly nad 0°C ve výšce 3653 m n. m. v měsíci květen a ve výšce 3913 m n. m. v červnu. V obou výškách byl nejteplejší červenec a průměrné teploty padly pod 0°C od října.

Tab. 15: Průměrné měsíční teploty vzduchu v údolí Adygine

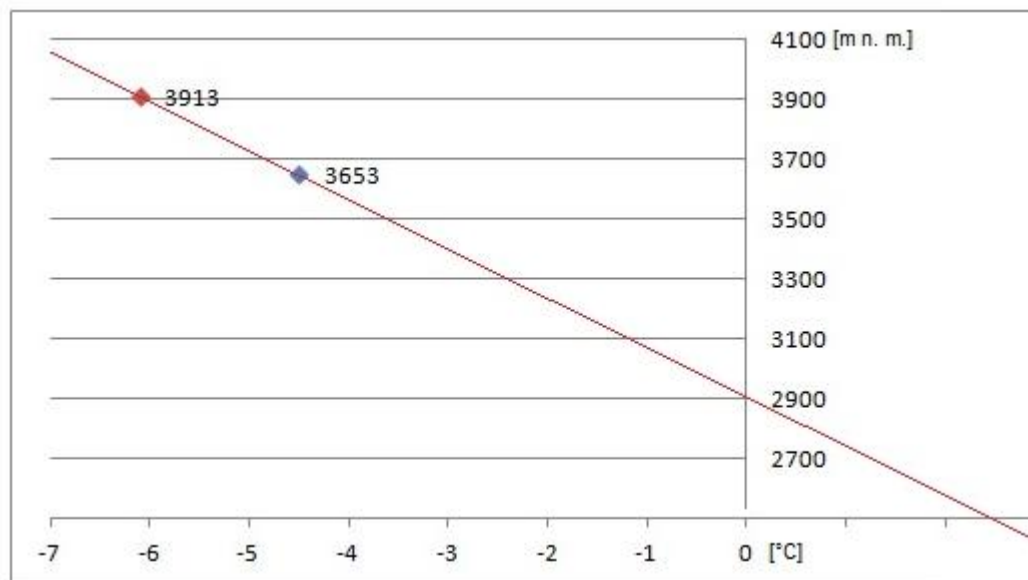
	3653 m n. m.	3913 m n. m.
I	-15,9	-17,6
II	-13,0	-15,1
III	-9,9	-11,4
IV	-3,0	-4,4
V	0,3	-1,1
VI	2,5	1,0
VII	5,0	3,7
VIII	4,9	3,5
IX	1,7	0,5
X	-3,7	-5,4
XI	-8,9	-11,2
XII	-14,4	-16,3
prům. roční	-4,5	-6,1
prům. (-)	-9,5	-10,2
prům. (+)	4,2	3,8

Graf 22: Průměrné měsíční teploty vzduchu v údolí Adygine



Na základě znalosti průměrné roční teploty vzduchu v nadmořské výšce 3653 m n. m. ($-4,5^{\circ}\text{C}$) a průměrné roční teplotě vzduchu v 3913 m n. m. ($-6,1^{\circ}\text{C}$) lze určit polohu roční nulové izotermy teploty vzduchu (viz. graf 23). Tato nulová izoterma se v údolí Adygine nachází v nadmořské výšce kolem 2900 m n. m.

Graf 23: Poloha roční nulové izotermy teploty vzduchu v údolí Adygine



6. DISKUZE

Rozdílné stanovištní podmínky pěti lokalit, kde probíhalo měření teplot pod povrchem ledovcových akumulací, se odrazily ve výsledcích. V horském prostředí znamenají i malé rozdíly v orografii velkou změnu v teplotním režimu. Tolasz et al. (2007) uvádí, že denní chod teploty na povrchu půdy i v různých hloubkách má většinou jedno maximum a jedno minimum, což se potvrdilo i v zájmovém území. Z vyhodnocení dat dále vyplývá, že na zkoumaných lokalitách klesají teploty na minimum v obou sledovaných hloubkách těsně před východem Slunce a maximálních hodnot dosahují krátce po kulminaci Slunce. Tato zjištění potvrzují závěry Smolíka (1957), že nejvyšších teplot dosahují půdy většinou hodinu po sluneční kulminaci a nejnižších těsně před východem Slunce. Zkoumáním se také potvrdilo, že nejvýraznější denní chod teploty pod zemským povrchem můžeme pozorovat za jasného počasí v teplé části roku. Na lokalitě ST-4 byla například největší amplituda teplot ($13,6^{\circ}\text{C}$) zaznamenána 25. 7. 2009, kdy zde byla naměřena nejvyšší teplota ze všech lokalit za celé sledované období (22°C v hloubce 15 cm). V chladné části roku se teplota během dne někdy nezměnila ani o 2°C . Při vyhodnocování teplotních řad se také opakovaně potvrdilo zpoždění nástupu denního maxima a minima s hloubkou, a to v průměru o 2 až 4 hodiny na každých 10 cm hloubky, což opět potvrzuje tvrzení Tolasze et al. (2007).

Nástup jarních regelačních sezón nastával na zkoumaných lokalitách zpravidla koncem dubna až začátkem května. Výjimkou bylo jaro 2009, kdy jarní regelační sezóna ve všech lokalitách nastala přibližně o měsíc později. Dle pozorování na místní meteorologické stanici se jednalo o rok s extrémně vysokou sněhovou pokrývkou, která dlouho odtávala a sloužila jako izolační vrstva, čímž omezovala průnik tepla do půdy. Regelační aktivita byla na zkoumaných lokalitách relativně slabá. Nejvíce regelačních cyklů bylo zaznamenáno na lokalitách ST-5 a ST-4. Nejvíce regelačních cyklů bylo vymezeno na základě kritéria 0°C , i když je známo, že půda nemusí při této teplotě zmrznout (Hall, 2004). Regelační cykly vymezené na základě teplotního intervalu 0 až $-0,1^{\circ}\text{C}$ se již objevovaly méně často, popř. k nim nedocházelo vůbec. Nejčastěji byly takto vymezené regelační cykly zaznamenány na lokalitě ST-5, kde přitom měření teplot probíhalo ze všech lokalit nejkratší dobu (pouze podzimní regelační sezóna 2009 a jarní regelační sezóna 2010). Na základě intervalu 0 až $-0,2^{\circ}\text{C}$ se vyskytlo nejméně regelačních cyklů. V lokalitách ST-2 a ST-3 dokonce neproběhl na základě tohoto intervalu žádný regelační cyklus během celého sledovaného období.

Ve všech zkoumaných lokalitách pravidelně během zkoumaného období každoročně rozmrzala půda v obou sledovaných hloubkách, a to průměrně na dobu čtyř až pěti měsíců.

Většinou se jednalo o období květen až září, kdy maximální teploty přesahovaly dokonce teplotu i 20°C. Výrazně kratší trvání období s kladnými teplotami bylo zjištěno pouze v roce 2009 na lokalitě ST-3, kde sedimenty v hloubce 15 cm rozmrzly pouze na dobu 3 měsíců (červenec až září).

Hodnoty průměrné roční teploty půdy ve všech pěti lokalitách během zkoumaného období jsou >-2°C. Při porovnání s hodnotami podle Romanovsky et al. (2010), které teplotně vymezují výskyt permafrostu lze říci, že se zájmové území nachází v oblasti s nesouvislým permafrostem. Výjimkou je lokalita ST-3, která v roce 2009 měla průměrnou roční teplotu půdy -2,9°C v 15 cm a -2,7°C ve 30 cm, což by odpovídalo hodnotě pro souvislý permafrost, ale v roce 2008 nedosáhly tyto teploty ani -1°C, což opět poukazuje na nesouvislý až sporadický permafrost.

Průměrné roční teploty vzduchu ve dvou nadmořských výškách dosáhly v roce 2011 hodnoty >-4°C (v 3653 m n. m. průměrná roční teplota vzduchu -4,5°C a v 3913 m n. m. teplota -6,1°C). Dle Etzelmüllera a Hagena (2005) z toho důvodu vychází, že se termistory pro měření teplot vzduchu nachází v oblasti se souvislým permafrostem. Jenže termistory pro měření teplot vzduchu se nachází ve vyšší nadmořské výšce, než proběhlo měření teplot půdy. Údaj o průměrné roční teplotě vzduchu v nadmořské výšce 3653 m n. m. nejlépe odpovídá oblasti ST-5 (3659 m n. m.), která se nachází ze všech lokalit nejvýše a téměř u čela ledovce. Na základě tvrzení Etzelmüllera a Hagena (2005) ohledně průměrných ročních teplot vzduchu se dá říci, že je v lokalitě ST-5 možný výskyt trvalého permafrostu. Podle průměrných ročních teplot půdy v této lokalitě to ale určit nelze, protože zde neprobíhalo soustavné měření. Lokalita ST-3 se nachází také v přibližně stejné nadmořské výšce, tudíž by zde měla být podobná hodnota průměrné roční teploty vzduchu (cca -4,5°C) a hodnota průměrné roční teploty půdy v roce 2009 přesáhla hodnotu -2°C což také odpovídá trvalému permafrostu, ale stalo se tak pouze v roce 2009. Také údaje o teplotě vzduchu jsou pouze z jednoho roku (2011), kdy již neprobíhalo měření teplot půdy, a tyto hodnoty se mohou v dalších letech lišit, proto nelze jednoznačně určit, že se v této lokalitě souvislý permafrost nachází. Zato u níže položených lokalit měření na základě toho, že přibližně každých 100m klesá teplota o cca 0,58°C (Aizen, Aizen, 1997) lze odvodit průměrnou roční teplotu vzduchu pro zbytek lokalit a podle výsledku (>-4°C) to již vypovídá o výskytu nesouvislého permafrostu.

V porovnání s oblastí také v severním Ťan – Šanu, konkrétněji v oblasti horských hřbetů Zailijský a Kungey Alatau (cca 220 km severovýchodně od údolí Adygine) byl také zjištěn výskyt souvislého permafrostu v nadmořské výšce nad 3500 m n. m. a nesouvislý mezi 3200 až 3500 m n. m. (Bolch, Marchenko, 2008; Marchenko, Romanovsky, 2006), což by odpovídalo i oblasti Adygine.

Na základě grafu č. 23, který obsahuje průměrné roční teploty vzduchu v 3653 m n. m. ($-4,5^{\circ}\text{C}$) a 3913 m. n. m. ($-6,1^{\circ}\text{C}$) lze určit výšku nulové izotermy teploty vzduchu, která se nachází přibližně v nadmořské výšce 2900 m n. m. Linie rovnováhy ledovce se v údolí Adygine v roce 1973 nacházela v nadmořské výšce v 3910 m n. m. (МАКЧИМОВ, 1973), tudíž dnes se nachází přibližně ve 4000 m n. m. Nepotvrdil se zde výskyt souvislého permafrostu, tudíž se linie rovnováhy ledovce nachází níže než hranice horského permafrostu (MPA>ELA). Podle tohoto zjištění lze na základě Etzelmüllera a Hageny (2005) a obr. 3 určit, že pod čelem ledovce Adygine převládají podmínky srovnatelné s ledovci s teplou (vlhkou) bází. Skutečnosti, že ledovec Adygine má teplou bází, nasvědčují i výrazně vyvinuté erozní glaciální tvary v zájmovém údolí.

7. ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byly vyhodnoceny teplotní řady naměřené pod povrchem ledovcových akumulací na pěti lokalitách v údolí řeky Adygine v severní části Kyrgyzského hřbetu. Dále byly vyhodnoceny teploty vzduchu ve dvou lokalitách. Nejdůležitější poznatky ze studia odborné literatury a z vyhodnocení teplotního režimu povrchové vrstvy morén a teplot vzduchu v údolí řeky Adygine jsou následující:

Analýza teplotních řad ukázala, že denní minimální teploty nastávají většinou těsně před východem Slunce a maximální teploty s menším zpožděním po kulminaci Slunce. Tyto minimální a maximální teploty nastávají nejdřív v menší hloubce (v této bakalářské práci se jednalo o 15 cm) a přibližně s dvouhodinovým zpožděním v hloubce 30 cm. Ze všech 10 teplotních řad je zřejmé, že ve všech zkoumaných lokalitách dochází k pravidelnému sezónnímu zamrzání a rozmrzání povrchové vrstvy sedimentů. Období s kladnými teplotami ve sledovaných lokalitách trvá mezi třemi (červenec – září) až pěti měsíci (květen až září), jeho délku mohou výrazně ovlivnit sněhové podmínky, jakožto izolační vrstva. Průměrná roční teplota půdy byla ve všech pěti lokalitách v letech 2008 a 2009 (s výjimkou ST-3 v roce 2009) v obou hloubkách $>-2^{\circ}\text{C}$.

Průměrná roční teplota vzduchu v údolí Adygine v 3653 m n. m. v roce 2011 byla $-4,5^{\circ}\text{C}$, zatímco v 3913 m n. m. $-6,1^{\circ}\text{C}$, pomocí tohoto zjištění lze odvodit nadmořskou výšku nulové izotermy teploty vzduchu, která leží přibližně v 2900 m n. m. Dále na základě literatury z rešeršní části ležela linie rovnováhy ledovce v roce 1973 v nadmořské výšce 3910 m n. m. (МАКСИМОВ, 1973), dnes se nachází přibližně ve 4000 m n. m.

Na základě ročního chodu teplot půdy ve všech lokalitách, polohy nulové izotermy teploty vzduchu v zájmovém území s publikovanými poznatky z přilehlých horských oblastí lze usuzovat nepřítomnost souvislého horského permafrostu v oblasti lokalit měření (3498-3659 m n. m.). Charakteristiky dále nasvědčují, že na základě zjištění a porovnání polohy linie rovnováhy ledovce a přítomnost nesouvislého permafrostu lze převládající podmínky při bázi splazu ledovce Adygine označit jako teplé (vlhká báze).

Nevýhodou zjištěných poznatků je skutečnost, že vycházejí z poměrně krátkého období měření. Teplotní záznamy půdy zachycovaly pouze 2,5 roku a některé řady byly navíc přerušeny. To značně omezilo možnosti vzájemného porovnávání výsledků ze sledovaných lokalit. Teplotní záznamy vzduchu byly pouze z jednoho roku, který se dokonce lišil od termínu měření teploty půdy. Další nevýhodou bylo, že popisované území není ještě zcela probádané, a tudíž existuje pouze minimální množství zdrojů k jeho důkladnému popsání.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- AIZEN, V. B., AIZEN, E. M. Hydrological Cycles on the North and South Peripheries of Mountain - Glacial Basins of Central Asia. *Hydrological Processes*. 1997, 451-469.
- AIZEN, V. B., AIZEN, E. M., MELACK, J. M. Precipitation, melt and runoff in the northern Tien Shan : *Journal of Hydrology*. 1996, 186, 229-251.
- AIZEN, V. B., AIZEN, E. M., MELACK, J. M., DOZIER, J. Climatic and Hydrologic Changes in the Tien Shan, Central Asia. *Journal of Climate*. 1997, 10, 1393-1404.
- ANDERSON, R. S., ANDERSON, S. P. *Geomorphology: The Mechanics and Chemistry of Landscapes*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- BENISTON, M. Mountain weather and climate: A general overview and a focus on climatic change in the Alps. *Hydrobiologia*. 2006, 562, 3-16.
- BOLCH, T., MARCHENKO, S. Significance of glaciers, rockglaciers and ice-rich permafrost in the Northern Tien Shan as water towers under climate change conditions. In: BRAUN, L. N. et al. *Selected papers from the Workshop "Assessment of Snow, Glacier and Water Resources in Asia" held in Almaty, Kazakhstan, 28-30 Nov.* Paris: UNESCO-IHP and German National Committee for IHP/HWRP, 2008, 179-193.
- CHARREAU, J., CHEN, Y., GILDER, S., DOMINIQUEZ, S., AVOUAC, J. P., SEN, S., SUN, D., LI, Y., WANG, W. M. Magnetostratigraphy and rock magnetism of the Neogene Kuitun He section (northwest China): implications for Late Cenozoic uplift of the Tianshan mountains, *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 230, 177-192.
- ČERNÍK, A., SEKYRA, J. *Zeměpis velehor*, Praha: Academia, 1969, 393.
- ČERNÝ, M. Analýza rizik a omezení důsledků protržení hrází vysokohorských jezer. Závěrečná zpráva o řešení projektu 194/07-09/MŽP/B., díl 2. Speciální část. Geomin, Jihlava, 2011, 166.
- ČERNÝ, M. Monitoring vysokohorských ledovcových jezer a ochrana obyvatelstva před katastrofálními následky povodní vzniklých průtržemi morénových hrází. Díl 2. Závěrečná zpráva o řešení projektu 110/04-06/MŽP/B. GEOMIN družstvo, Jihlava, 2006, 138.
- DAHL, E. Biogeographic and geologic indications of unglaciated areas in Scandinavia during the Ice Age. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1955, 66, 1499-1517.
- DEMEK, J. *Obecná geomorfologie*. Praha: Academia, 1987, 476.

- DEMETRESCU, C., NITOIU, D., BORONEANT, C., MARICA, A., LUCASCHI, B. Thermal signal propagation in soils in Romania: Conductive and non-conductive processes. *Clim. Past Discuss.* 2007, 469-500.
- ELLENBERG, H. Vegetation Ecology of Central Europe. 4th edition, Cambridge: Cambridge University Press, 1988, 753.
- ETZELMÜLLER, B., HAGEN, J. O. Glacier – permafrost interaction in Arctic and alpine mountain environments with examples from southern Norway and Svalbard. In: HARRIS, C., MURTON, J. B. *Cryospheric Systems : Glaciers and Permafrost*. Special Publication no 242. London: The Geological Society, 2005, 11-27.
- FAHEY, B. D. An Analysis of Diurnal Freeze-Thaw and Frost Heave Cycles in the Indian Peake Region of the Colorado Front Range. *Arctic and Alpine Research*. 1973, 5, 3, 269-281.
- FARRINGTON, D. J. *A report of Protected Areas, Biodiversity, and Conservation in the Kyrgyzstan Tian Shan*. 2005.
- FRENCH, H. M. *The Periglacial Environment*. 3rd edition. Ottawa: John Wiley & Sons, 2007, 458.
- GONZÁLEZ, J. S., GUTIÉRREZ, R. B. G., VILLAR, A. G., VEGA, J. M. R. Ground thermal regime in the vicinity of relict rock glaciers (Cantabrian Mountains, NW Spain). *Finisterra*. 2009, 87, 35-44.
- HAGG, W. et al. Modelling of hydrological response of climate change in glacierized Central Asian catchments. *Journal of Hydrology*. 2007, 332, 40-53.
- HALL, K. Evidence for Freeze-Thaw Events and their Implications for rock weathering in Northern Canada. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2004, 29, 1, 43-57.
- HORNÍK, S. *Fyzická geografie II*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1986, 320.
- KÖRNER, Ch. *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. 2nd ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003.
- KUČERA, J. *Minikin. Datalogger with embedded sensors - smart sensors. User's Manual*. Environmental Measuring Systems, Brno, 2003, 8.
- KVÆRNØ, S. H., ØYGARDEN, L. The influence of freeze-thaw cycles and soil moisture on aggregate stability of three soils in Norway. *Catena*. 2006, 67, 175 - 182.

- МАКСИМОВ, Е. В., БАЖЕВА, В.Я. *Каталог ледников СССР, Том 14, Средняя Азия, Выпуск 2, Киргизия; Ленинград.* Гидрометеиздат, 1973.
- MARCHENKO, S., ROMANOVSKY, V. Temporal and Spatial Changes of Permafrost Distribution in the Tien Shan Mountains During the Last Millennia. In: *Asian Conference on Permafrost*. Lanzhou, 2006, 140.
- MARCHENKO, S. S., GORBUNOV, A. P., ROMANOVSKY, V. E. Permafrost warming in the Tien Shan, Central Asia. *Global and Planetary Change*. 2007, 56, 311-327.
- MIDRIAK, R. *Morfogenéza povrchu vysokých pohorí : Morfológická štúdia s osobitným zreteľom na deštrukciu pôdy v Západných Karpatoch* . Vyd. 1. Bratislava: VEDA, 1983, 516.
- RITTER, D. F., KOHEL, R. C., MILLER, J. R. *Process Geomorphology, Fifth Edition*. Waveland Press, 2011, 652.
- ROMANOVSKY, V. E., SMITH, S. L., CHRISTIANSEN, H. H. Permafrost Thermal State in the Polar Northern Hemisphere during the International Polar Year 2007-2009: a Synthesis. *Permafrost and Periglacial Processes*. 2010, 21, 106-116.
- SEKYRA, J. *Kryopedologická terminologie*. Čas. Mineral. a Geolog. 3, Praha, 1958, 349-358.
- SEKYRA, J. *Působení mrazu na půdu. Kryopedologie se zvláštním žřetelem k ČSR*. Nakladatelství ČSAV, Praha, 1960, 164.
- SMOLÍK, L. *Pedologie*. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957, 400.
- TOLASZ, R., BRÁZDIL, R., BULÍŘ, O., DOBROVOLNÝ, P., DUBROVSKÝ, M., HÁJKOVÁ, L., HALÁSOVÁ, O., HOSTÝNEK, J., JANOUC, M., KOHUT, M., KRŠKA, K., KŘIVANCOVÁ, S., KVĚTOŇ, V., LEPKA, Z., LIPINA, P., MACKOVÁ, J., METELKA, L., MÍKOVÁ, T., MRKVICA, Z., MOŽNÝ, M., NEKOVÁŘ, J., NĚMEC, L., POKORNÝ, J., REITSCHLÄGER, J. D., RICHTEROVÁ, D., ROŽNOVSKÝ, J., ŘEPKA, M., SEMERÁDOVÁ, D., SOSNA, V., STRÍŽ, M., ŠERCL, P., ŠKÁCHOVÁ, H., ŠTĚPÁNEK, P., ŠTĚPÁNKOVÁ, P., TRNKA, M., VALERIANOVÁ, A., VALTER, J., VANÍČEK, K., VAVRUŠKA, F., VOŽENÍLEK, V., VRÁBLÍK, T., VYSOUDIL, M., ZAHRADNÍČEK, J., ZUSKOVÁ, I., ŽÁK, M., ŽALUD, Z. *Atlas podnebí Česka*. Vyd. 1. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007, 256.

- WASHBURN, A. L. *Periglacial processes and environments*. 1st ed. London: Edward Arnold, 1973, 320.
- YERSHOV, E. D. *General Geocryology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004, 608.

Mapové zdroje

- ALA ARCHA NATURAL PARK: Topographic map 1 : 50 000. Bishkek: Goskartographiya. 1999.
- GEOLOGICKÁ MAPA 1 : 100 000, List K-43-XV. 1960.

Internetové zdroje

- APLIKACE GOOGLE EARTH [online]. [cit. 2012-02-15].